PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH
CENTRALNEGO ZARZĄDU ENERGETYKI, CENTRALNEGO ZARZĄDU PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO
Redaktor inż. Tadeusz Czaplicki

Rok XXIV | Warszawa, 21 listopada 1948 r. | Zeszyt 10/11

KRONIKA

XXXVIII. Zagadnienie szkolnictwa inżynierskiego w Polsce.

Planowanie państwowe, które stanowi jedną z głównych podstaw naszej obecnej gospodarki, polega na tym, że przygotowuje się plany pożądanych osiągnięć możliwie najszersze, lecz jednocześnie z szczalne z punktu widzenia naszych możliwości, oraz że te plany wykonywa się w wyznaczonym terminie w całości, a przy wyzyskaniu dodatkowego wysiłku, zrodzonego np. we współzawodnictwie pracy, nawet z nadwyżką. Tak pojęty plan nie może być tylko wykazem naszych pragnień czy zamierzeń oraz preliminowanych kwot pieniężnych, lecz musi obejmować również realne projekty zapewnienia sobie potrzebnych materiałów i potrzebnych ludzi, bo to są dwa elementy istotne, na których opiera się powodzenie planu.

Zagadnienie przygotowania ludzi ma wyjątkowo doniosłe znaczenie w obu dziedzinach naszego przemysłu, z którymi są związani elektrycy, tzn. zarówno w energetyce, jak i w przemyśle elektrotechnicznym, a to z tego powodu, że te dziedziny jeszcze przed wojną nie były dość rozwinięte na nasze ówczesne potrzeby, że w okresie wojny doznały one poważnych spustoszeń i że obecnie mają do spełnienia — zwłaszcza przemysł elektrotechniczny — olbrzymie zadania w krótkim czasie.

O poczynaniach naszego przemysłu elektrotechnicznego w dziedzinie szkolenia pracowników technicznych pierwszego poziomu, (robotników kwalifikowanych, czeladników, mistrzów) byliśmy już informowani w Przeglądzie*).

Na dalszych stronicach niniejszego zeszytu wiceminister H. Golański oświetla sprawę dostarczenia przemysłowi pracowników technicznych wyższego poziomu, mianowicie personelu inżynierskiego przede wszystkim tej kategorii, której zapotrzebowanie ze strony przemysłu ma charakter raczej masowy i która może i powinna odegrać wielką rolę w pomyślnym marszu przemysłu ku postawionym mu celom. Chodzi tu, powiedzmy, o typ pośredni między pracownikiem dobrze u nas znanym i dobrze już zasłużonym pod mianem „wawelberczyka" a wychowankiem naszej przedwojennej politechniki. Najwięcej potrzeba nam fachowców o poziomie inżynierskim, którzy pracują w działach konstrukcyjnych, probierczych i kalkulacyjnych przedsiębiorstw przemysłowych lub bezpośrednio kierują w fabrykach, w elektrowniach czy na montażach pracą większych zespołów robotniczych i są bezpośrednią pomocą dla inżynierów, zajmujących najwyższe stanowiska. Istota i trudności stojącego przed nami zagadnienia spoczywają nie w zarysowaniu oblicza techniczno-naukowego potrzebnych nam pilnie pracowników wskazanej kategorii, lecz w tym, że potrzeba ich nam dużo i szybko, tzn. znacznie więcej i znacznie prędzej, niż ich nam mogą dostarczyć nasze obecne zakłady naukowe (szkoły inżynierskie i politechniki) w ramach ich dotychczasowego ustroju i dotychczasowej wydajności.

Zadanie to musimy rozwiązać pomyślnie i prędko, bo bez tego nie wykonamy planów, które sobie stawiamy i które muszą być wykonane. Jedyna droga do tego — to zorganizowanie nauczania przyśpieszonego, a więc zredukowanego w stosunku do dawnych programów politechnicznych.

Jak w czasie wojny szkoli się oficerów czy lekarzy wojskowych w trybie skróconym, tak my w energicznej walce ze swym zacofaniem technicznym i przemysłowym powinniśmy uciec się na pewien okres do analogicznej metody.

Wykształcenie techniczne zredukowane bynajmniej nie oznacza wykształcenia o małej wartości. Skrócenie czasu kształcenia powinno osiągnąć się przez lepsze wyzyskanie tego czasu, przez wyeliminowanie z wykładów zagadnień teoretycznych nie mających bezpośredniego zastosowania praktycznego, przez stosowanie metod poglądowych, przez obfite ćwiczenia praktyczne (obliczeniowe, rysunkowe, laboratoryjne, warsztatowe), poparte następnie dobrze postawioną i ściśle kontrolowaną praktyką wakacyjną itd.

Inżynier o takim przygotowaniu bynajmniej nie będzie obciążony żadną ułomnością fachową. Będzie miał wprawdzie nie uniwersalny krąg zastosowania, lecz będzie go miał za to na bardzo rozległym obszarze pracy technicznej, gdzie przypadnie mu w udziale rola pracownika najpotrzebniejszego.

Materiał małowartościowy, jeżeli przedostanie się przez szkołę do pracy, odpadnie automatycznie. Natomiast najzdolniejsi inżynierowie wymienionej kategorii po kilku latach dobrej praktyki będą zawsze mogli przez uzupełnienie swej wiedzy, zwłaszcza w dziedzinie teoretycznej, wybić się na najwyższy szczebel fachowości inżynierskiej, która z każdym rokiem, w miarę podnoszenia się naszego przemysłu na coraz wyższy poziom, będzie się również pięła w górę.

Możliwości powyższe przewiduje w pełni schemat zaprojektowanych szkół technicznych wyższych o dwustopniowości szeregowej, którego wprowadzenie w życie rozpoczęto już w bieżącym roku akademickim. Szkoły inżynierskie, jako wyższe zakłady techniczne I-go stopnia — stopnia inżynierskiego, pozostaną w zasadzie przy dotychczasowej organizacji, w formie zakładów odrębnych o 3½-rocznym okresie nauczania, natomiast organizacja politechnik ulegnie reformie w tym sensie, że pierwszych siedem semestrów politechniki będą stanowić na wszystkich wydziałach zamkniętą całość, odpowiadającą stopniowi inżynierskiemu, a więc identyczną ze szkołą inżynierską, natomiast dalsze cztery semestry politechniki będą tworzyć na pewnej liczbie wydziałów wybranych zakład techniczny II stopnia — stopnia magisterskiego. Studia magisterskie będą dalszym ciągiem szkoły inżynierskiej i będą dostępne dla wychowańców I stopnia.

Wydaje się, że przy starannym opracowaniu programów, przy sprężystej organizacji nauczania, przy dobrej selekcji materiału studenckiego pod względem pilności i uzdolnień, przy zapewnieniu młodzieży wszechstronnej pomocy w jej studiach — zreformowane w ten sposób szkolnictwo techniczne wyższe spełni te zadania, które wypływają z dzisiejszych podstawowych potrzeb państwa.

XXXIX. Rodzina prostownika rtęciowego.

Do dziedzin, które w okresie wojennym i powojennym doznały na świecie olbrzymiego rozwoju, należą liczne zastosowania „prostownika" rtęciowego. Dziś już trzeba mówić nie o prostowniku, lecz o całej jego rodzinie, dla której w słownictwie polskim wprowadzono ogólną nazwę „przekształtników". Dzięki zastosowaniu siatek sterowniczych prostownik rtęciowy może przetwarzać nie tylko prąd zmienny na stały, lecz i, odwrotnie, prąd stały na zmienny; gdy występuje w tej ostatniej roli, nazywamy go po polsku „falownikiem". Następnie „prostownik" rtęciowy dzięki zastosowaniu siatki sterowniczej może służyć również do zmiany częstotliwości prądu zmiennego przy zachowaniu pierwotnej liczby faz lub przy jednoczesnej zmianie liczby faz. Taki przyrząd nazywa się „przemiennikiem". Rozróżniamy więc trzy odmiany przekształtnika z punktu widzenia jego głównej czynności: prostownik, falownik i przemiennik. W powojennych zeszytach

*) Por. np. M. Skoczylas. Szkolnictwo zawodowe przemysłu elektrotechnicznego (PE, 1948, z. 6, str. 196).

Przeglądu czytelnik otrzymał już sporo materiału informacyjnego o postępach w rozwoju całej tej rodziny i o korzyściach, które ona nam przynosi. Dzisiejszy artykuł inż. Z. Figurzyńskiego jest dalszym cennym uzupełnieniem tego materiału.

Zastosowanie przekształtników rtęciowych są dziś różnorodne i rozległe. Przede wszystkim aparaty te występują w roli prostowników tam, gdzie prąd stały jest nieodzownie potrzebny w wielkiej skali, a więc do procesów elektrolitycznych. Wystarczy wymienić produkcję aluminium, miedzi, cynku, magnezu, a dalej chloru, wodoru i in., by sobie uprzytomnić całą wagę prostowników dla wielkiego przemysłu elektrotechnicznego.

Drugą wielką dziedziną zastosowania przekształtników jest trakcja elektryczna przede wszystkim na prądzie stałym, gdzie prostownik-falownik służy do zasilania sieci trakcyjnej i odzyskiwania energii pod postacią prądu zmiennego przy hamowaniu. Taki przypadek zastosowania przekształtnika w trakcji mamy właśnie w Polsce, gdzie do elektryfikacji kolei głównych został przyjęty prąd stały o napięciu 3 000 V. W krajach, w których trakcja kolejowa korzysta z prądu jednofazowego, przekształtnik oddaje jej wielkie usługi w roli przemiennika (pozwala otrzymać np. z prądu trójfazowego o 50 okr./sek. prąd jednofazowy o częstotliwości $16^2/_3$ okr. sek. [1]).

Na horyzoncie techniki światowej ukazuje się już trzecia wielka dziedzina zastosowania przekształtników — przesył energii pod postacią prądu stałego o bardzo wysokim napięciu na dalekie odległości [Kr. XXIII]. Tu przekształtnik rtęciowy będzie pracował na krańcu odsyłołowym linii w roli prostownika, na krańcu odbiorczym w roli falownika [2]).

Przekształtniki rtęciowe, które wkroczyły w świat wytwórczości i zastosowań przemysłowych głównie dzięki pracom Coopera Hewitta sprzed pół wieku, znajdują dość szerokie zastosowanie poza trzema wymienionymi wyżej dziedzinami w wielu innych, a więc w napędach elektrycznych, gdzie np. nadają się dobrze dzięki siatce sterowniczej do regulowania obrotów wielkich silników prądu stałego (mogą zastąpić urządzenia Leonarda), stosuje się je do napędu dmuchaw, pomp, podnośników, przenośników itp.; znajdują one zastosowanie w grzejnictwie elektrycznym dużej częstotliwości, w spawalnictwie prądu stałego i na innych polach. Poza elektroenergetyką oddają duże usługi również w radiotechnice, rentgenotechnice itd.

Rozległe rozpowszechnienie przekształtników tłumaczy się najpierw bezsporną wyższością tych przyrządów „statycznych" nad maszynami wirującymi, mogącymi spełniać te same czynności przetwarzania prądu.

Musimy przyznać przekształtnikom rtęciowym długi szereg nieocenionych zalet.

Przekształtniki te wyróżniają się prostotą swej instalacji i dużą trwałością, zajmują niewiele miejsca, są lżejsze od maszyn tej samej mocy, dają się łatwo montować, mogą być wszędzie ustawione, gdyż są niewrażliwe na wpływy atmosfery zanieczyszczonej (na działanie chemiczne gazów, na kurz itp.), nie mają żadnych części ruchomych, pracują cicho, bez drgań i wstrząsów, są proste w obsłudze, dają się szybko uruchomić, mają wyższą sprawność niż odpowiednie zespoły maszynowe — szczególnie przy niepełnym obciążeniu, odznaczają się niskimi kosztami ruchu, posiadają zdolność łatwej samoczynnej regulacji napięcia, dobrze nadają się do pracy równoległej, są wytrzymałe na przeciążenie, są mało wrażliwe na zakłócenia w sieci, w szczególności na zwarcia (dzięki siatce sterowniczej same potrafią w wielu razach uporać się z prądem zwarciowym bez żadnego udziału wyłącznika); głośne swego czasu kłopoty z zapłonem zwrotnym są, jak się zdaje, w znacznym stopniu opanowane. Napięcie robocze prądu stałego w trakcji może dochodzić do 4 000 V, w radiotechnice do 25 000 V (przy mocy 1 000 kW).

Nie mamy w tej chwili wiadomości o tym, jakich rozmiarów dosięgło dziś zastosowanie przekształtników na świecie. Ale na dowód tego, że jest ono wielkie, wystarczy nadmienić, że w Ameryce jedynie dwa wielkie przedsiębiorstwa elektrochemiczne wytwarzające aluminium (jedno w Kanadzie, drugie w USA) miały w 1943 r. zainstalowanych w prostownikach łącznie 742 + 541 = 1 283 MW [3]), co stanowi więcej niż połowę mocy zainstalowanej obecnie we wszystkich elektrowniach polskich (zawodowych i niezawodowych łącznie). Ogółem zaś cały przemysł elektrochemiczny USA miał w 1943 r. zainstalowaną w prostownikach rtęciowych moc 3 500 MW i zużył w nich w tym roku 51 mlrd. kWh, co się równa 7-krotnej produkcji energii w Polsce w roku bieżącym do wszelkich celów. Nie można wątpić, że u nas zapotrzebowanie prostowników dla potrzeb przemysłu elektrochemicznego będzie znaczne, gdyż rozwój tego przemysłu jest konieczny.

Łatwiej jest nam ocenić dziś zapotrzebowanie prostowników dla trakcji polskiej. Sama elektryfikacja węzła kolejowego w okręgu stołecznym będzie wymagać przy pełnej rozbudowie przeszło 200 MW w prostownikach (około 70 sztuk po 3 MW [4]). Do urzeczywistnienia zaś pełnego programu elektryfikacji naszych kolei głównych, który powinien by objąć prawdopodobnie około 30% długości całej sieci państwowej, potrzebna nam będzie moc w prostownikach dziesięć razy większa, bo przeszło 2 000 MW. Do tego należałoby jeszcze dodać zapotrzebowanie prostowników do zasilania kolei dojazdowych i kolei miejskich.

Widać już z powyższych liczb, jak wielkie są nasze potrzeby w zakresie zaopatrzenia kraju w prostowniki, a jeżeli sobie uprzytomnić, że dotychczas ich jeszcze sami nie budujemy, to stanie nam przed oczami jeden z obrazów, świadczących o dużym opóźnieniu w rozwoju naszej techniki i naszego przemysłu, a więc jeden z tych obrazów, które teraz automatycznie wywołują w nas dopływ woli, zapału i energii do wyrwania się z ciążącego nad nami zacofania. Wszyscy rozumiemy, że prostowniki rtęciowe należą dziś do artykułów, które nie mogą być pominięte w programie produkcyjnym przemysłu krajowego, i wiemy, że przygotowania do uruchomienia u nas tego działu produkcji są w toku [5]).

XL. Statystyka polskiej energetyki

Po dłuższej przerwie, spowodowanej zmianą wzorów statystycznych, otrzymujemy materiał wzbogacony bardzo cennymi danymi o mocach „rozporządzalnych" całej polskiej energetyki i o sumarycznym obciążeniu szczytowym dla całego kraju. Dane te są zbierane jeszcze w sposób prymitywny, a więc niedoskonały, bo nowoczesne urządzenia telemetryczne ogólno-krajowe, o których świeże informacje również znajdziemy w niniejszym zeszycie, będą gotowe dopiero za parę lat. Jednak dane te rzucają dość światła na ciężkie warunki pracy naszej energetyki, tj. na dotkliwy brak nowoczesnych urządzeń wytwórczych w takiej skali, jaka odpowiadałaby dzisiejszym potrzebom kraju. Wiemy, że najbliższe lata, kiedy rozpocznie się realizacja już udzielonych i dalej udzielanych zamówień, przyniosą nam wyraźną poprawę pod względem wyposażenia elektrowni polskich w urządzenia wytwórcze, a to z kolei odbije się ożywczo na rozwoju przemysłu i całej gospodarki narodowej oraz na warunkach bytowania ludności.

W sprawie tempa przyrostu procentowego comiesięcznej krajowej produkcji energii w stosunku do odpowiedniego miesiąca roku poprzedniego, powstawały przed rokiem obawy [Kr. XXVIIII]. Otrzymany obecnie materiał cyfrowy za ubiegłe miesiące świadczy, że tempo to wprawdzie nie jest dziś takie, jakie obserwowaliśmy w pierwszych miesiącach po zakończeniu wojny, kiedy rozpoczynaliśmy produkcję od nienormalnie niskich wartości, ale tempo to nie spada poniżej przedwojennych norm „dobrej praktyki" obcych krajów, co w warunkach jawnie niewystarczającego zaopatrzenia naszej energetyki w środki wytwórcze należy uznać na dziś za stan zadowalający.

Tadeusz Czaplicki

[1]) Plewako S. Nowa rola prostownika rtęciowego (PE, 1947, z. 11/12, str. 344).

[2]) Jakubowski J. L. Zagadnienie linii najwyższych napięć prądu stałego na M. K. W. S. E. w 1946 r. (PE, 1947, z. 7/8, str. 236).

Por. również streszczenia artykułów C. Brynhildsena (PE, 1947, z. 9/10, str. 303) i Ch. Ehrenspergera (PE, 1947, z. 7/8, str. 243 i 246).

[3]) Figurzyński Z. Postęp w konstrukcji prostowników dużej mocy w Europie i Stanach Zjednoczonych (ob. w niniejszym zeszycie na str. 359).

[4]) Dzikowski J. Przyszła rozbudowa i eksploatacja trakcji elektrycznej w okręgu stołecznym (PE, 1946, z. 3, str. 86).

[5]) Żarnecki T. Problemy rozwojowe przemysłu elektrotechnicznego (PE, 1948, z. 1/2, str. 7).

INŻ. MGR HENRYK GOLAŃSKI

Reforma wyższego szkolnictwa technicznego

Treść. Cechą dotychczasowego dwustopniowego szkolnictwa jest to, że szkoły inżynierskie (pierwszy stopień) i politechniki (drugi stopień) stanowiły organizmy samoistne nie dostosowane do siebie w swych programach w taki sposób, żeby drugi stopień można było uznać za dalszy ciąg studiów pierwszego stopnia. Reforma polega na tym, że pierwszy stopień (inżynierski), zachowując swą samoistność i programy wystarczające dla przeważającej liczby inżynierów potrzebnych krajowi, jest jednocześnie pierwszym etapem nauki dla inżynierów o najwyzszych kwalifikacjach naukowych, którzy w drugim etapie będą mogli uzupełnić swe studia w dostępnej dla nich zawsze szkole drugiego stopnia (magisterskiego).

Реформа высших технических учебных заведений. Особенностию существовавшего до сих пор двуступенчатого устройства высших технических учебных заведений было то, что инженерные училища (первая ступень) и политехнические институты (вторая ступень) были обособленными учреждениями, программы которых не были координированы так, чтобы вторую ступень можно было считать в смысле обучения продолжением первой. Реформа заключается в том, что первая ступень (инженерная), сохраняя свою обособленность и программы, достаточные для громадного большинства нужных стране инженеров, является вместе с тем первым этапом подготовки инженеров наивысшего научного уровня, которые на втором этапе будут иметь возможность дополнить свое образование в доступном им всегда учебном заведении второй ступении (магистерской).

Reform of the Higher Engineering Education System. The feature of the present two-stage system of training is that engineering schools (first stage) and engineering academies (second stage) represent independent organisations, whose programs were not adapted to each other in such a manner as to consider the second stage as a continuation of the studies of the first stage. The reform provides for the first (engineering school) stage, while maintaining its independance and a program adequate for the majority of engineers of which the country is in need, to represent, at the same time, the first stadium in the training for engineers with the highest scientific qualifications who would be able, in the second stadium, to supplement their training in the second (engineering academy) stage readily accessible for them.

La réforme de l'enseignement supérieur technique. Le système d'enseignement à deux degrés appliqué jusqu'à ce jour était caractérisé par le fait que les écoles d'ingénieurs (premier degré) et les écoles „polytechniques" (second degré) constituaient des organismes indépendants, dont les programmes ne s'accordaient pas de façon à ce que le deuxième degré puisse être considéré comme la suite du premier. La réforme consiste dans ce que le premier degré (ingénieurs), tout en constituant un tout distinct et en offrant des programmes suffisants à la majorité des ingénieurs nécessaires au pays, constitue en même temps la première étape des études plus complètes offertes aux ingénieurs dont la formation scientifique doit être la plus poussée et qui pourront compléter leurs études, en une seconde étape, dans l'école du deuxième degré qui leur demeure toujours ouverte („magister").

1. Wstęp.

Przygotowania wieloletniego planu rozbudowy naszego gospodarstwa narodowego, stanowiące dziś trzon koncepcyjnej pracy centralnych organów planowania i resortów gospodarczych, nieuniknienie objąć muszą problem wysoko kwalifikowanej siły roboczej. W osiemnastu centralnych zarządach przemysłu podległych M. P. i H. średnia liczba pracowników przypadających na jednego inżyniera wynosi dziś ponad 180. Zmniejszenie tej liczby do 90—100 w ciągu najbliższych lat siedmiu nie jest chyba żądaniem przesadnym.

Istniejący ostry ilościowy niedobór kadr — zwłaszcza inżynierskich, przyszłych realizatorów tak sztabowej, jak liniowej pracy rozbudowy przemysłu, zwrócił uwagę decydujących w kraju czynników politycznych i gospodarczych. Wyrazem stanowiska przez nie zajętego była uchwała Komitetu Ekonomicznego Rady Ministrów, podjęta w maju br., o dodatkowych kredytach inwestycyjnych na rok bieżący, przeznaczonych w kwocie powyżej jednego miliarda złotych na rozbudowę wyższych szkół technicznych i studenckie budownictwo mieszkaniowe.

Ministerstwo Oświaty oraz Ministerstwo Przemysłu i Handlu śledzą dziś pilnie rozwój problemu i współdziałają ściśle w zakresie wypracowania nowych form organizacyjnych i programów wyższego szkolnictwa technicznego.

2. Dyskusja i jej wynik.

Pragniemy dziś nawiązać do kilku wysuniętych w tym przedmiocie*) przed pół rokiem wniosków.

Pierwszy dotyczył rozbudowy sieci szkół inżynierskich conajmniej do 10, aby wyrównać istniejący niedobór ilościowy tych szkół wobec liczby politechnik.

Drugi wniosek stwierdzał niepodobieństwo rozwiązania tego zagadnienia w skali rozporządzalnych środków personalnych i materialnych. W konsekwencji poprzednich — trzeci wniosek wskazywał na celowość powołania na istniejących politechnikach, w oparciu o ich obsadę i wyposażenie, kursu inżynierskiego (nieakademickiego), równoległego do kursu politechnicznego (akademickiego).

Ostatni wniosek spotkał się z negatywną oceną senatów. Motywacja wskazywała na niebezpieczeństwo przeciążania już i tak nadmiernie obciążonego pracą personelu nauczającego, na przekroczenie wydolności pracowni i laboratoriów, na niebezpieczeństwo niepożądanej zmiany atmosfery wyższych uczelni i idące za tym obniżenie poziomu szkolenia.

*) „Życie Nauki", tom V, nr 27—28, marzec—kwiecień, 1948, i „Przegląd Techniczny", nr 6, 15. III. 48.

Z drugiej strony wskazano na rażące niedomagania istniejącej w wyższym szkolnictwie technicznym dwustopniowości równoległej.

Wskazano — ilustrując przykładami stanu faktycznego — na dysproporcję ilościową studentów szkół inżynierskich i politechnik. Zapożyczając termin z teorii mnogości, rzec można, że klasa studentów szkół inżynierskich jest prawie pusta w stosunku do klasy studentów politechnik.

Zachowanie dwustopniowości równoległej powoduje i powodować będzie dyskryminację społeczną, będącą naturalnym wynikiem systemu elitarnego, typowego dla szkolnictwa technicznego w kapitalistycznych stosunkach Polski przedwrześniowej. Stąd psychiczny kompleks niższości u adeptów szkół inżynierskich i przekonanie o swej wyższości, cechujące absolwentów politechnik, ze wszystkimi tych cech konsekwencjami zawodowymi i socjalnymi.

Brak drożności między szkołą inżynierską a politechniką dowodzi, że termin „dwustopniowość kształcenia technicznego" w obecnym stanie wyższego szkolnictwa technicznego w Polsce jest pozbawiony treści. To nie są stopnie tej samej drabiny. Stopień szkoły inżynierskiej dydaktycznie i naukowo nie prowadzi do nikąd.

Jeśli tak jest — a tak właśnie jest — warto raz jeszcze uprzytomnić sobie cechy obecnej sytuacji:

1) brak nam dziś w Polsce około 7 500 inżynierów, a pożądany roczny przyrost ich liczby wynosi na lata najbliższe 2 000;

2) mamy za mało szkół inżynierskich w stosunku do politechnik;

3) zbyt nikła ilość studentów zapisuje się do szkół inżynierskich;

4) okres trwania studiów politechnicznych jest zbyt długi w porównaniu z potrzebami życia gospodarczego i naszymi możliwościami ekonomicznymi;

5) stąd trwały brak wysoko kwalifikowanych kadr technicznych, niezbędnych do modernizacji, rekonstrukcji i rozbudowy naszego aparatu wytwórczego.

Jest rzeczą jasną, że nie sposób dziś zredukować liczby istniejących politechnik na korzyść szkół inżynierskich. Równocześnie nie da się powiększyć trzykrotnie (a tyle trzeba) ilości istniejących szkół inżynierskich.

Tymczasem spośród znacznej ilości fachowców z wyższym wykształceniem technicznym, wymaganej zwłaszcza wobec oczekującego nas zadania realizacji 6-letniego planu gospodarczego, 80% winno mieć wykształcenie wyższe typu nieakademickiego, 20% zaś wykształcenie wyższe typu akademickiego.

Teza o celowości stworzenia na politechnikach kursów inżynierskich równoległych do normalnego kursu politechnicznego nie ostała się wobec zdecydowanie negatywnej opinii senatów.

W tym stanie rzeczy jako jedyne rozwiązanie, prowadzące do dostarczenia Państwu w szybkim czasie dostatecznej ilości fachowców z dziedziny techniki, jest wprowadzenie nauczania w systemie dwustopniowości szeregowej. Rozumie się przez to kształcenie na dwu poziomach: pierwszym — inżynierskim i drugim — magisterskim. Stopień pierwszy — inżynierski — ma służyć wykształceniu inżyniera, zdolnego natychmiast po skończeniu uczelni do samodzielnej pracy w dziedzinie*) konstrukcji, technologii lub ruchu (opieki nad maszynami).

3. Stopień I — inżynierski.

Program szkolenia na stopniu inżynierskim powinien być trzy i pół letni. Okres nauki obejmuje: a) dwa lata (semestry I—IV) nauki na kursie podstawowym; b) rok (semestr V i VI) nauki na kursie zawodowym; c) pół roku (semestr VII) praktyki w przemyśle.

Nauka na kursie podstawowym (semestry I—IV) ma doprowadzić do opanowania przez studenta podstaw nauk teoretycznych (matematyka, fizyka, mechanika, wytrzymałość materiałów i teoria maszyn cieplnych) w zakresie uwzględniającym zastosowalność i potrzeby praktyczne oraz rysunku technicznego, metalo i maszynoznawstwa, przeróbki i obróbki metali, a nadto do gruntownego i szczegółowego opanowania elementów maszyn pod względem wymagań użytkowności, wytrzymałości i wykonania. Wydaje się przy tym nieodzowne, aby przedmioty podstawowe, tj. matematyka i fizyka, wykładane były tylko na pierwszym roku.

Program kursu podstawowego stopnia inżynierskiego musi być dla danego wydziału jednakowy, niezależnie od uczelni. W programie tym dla poszczególnych wydziałów nie należy stwarzać żadnej specjalizacji (sekcji, oddziałów itp.).

Natomiast na kursie zawodowym (sem. V i VI) celowe jest wprowadzenie kierunkowości, umożliwiającej absolwentowi wybór specjalności w toku praktyki zawodowej. Nauka na tym kursie mogłaby przykładowo uwzględniać kierunki:
ogólno-konstrukcyjny,
technologiczny z podziałem na dwie specjalności: a) przeróbki cieplnej metali i b) obróbki metali,
ruchu (opieki nad maszynami).

W specjalności ogólno-konstrukcyjnej nauka na tym kursie**) winna doprowadzić do umiejętności detalizowania typowych elementów maszyn; w specjalności technologicznej obróbki metali — do umiejętności:
rozplanowania obróbki typowych części maszynowych,
projektowania narzędzi normalnych, uchwytów i przyrządów, obliczania kosztów wytwarzania,
produkcyjnego sprawdzania wyrobów,
detalizowania typowych elementów obrabiarek.

W specjalności technologicznej działu przeróbki metali nauka winna doprowadzić do umiejętności:
rozplanowania przeróbki odlewniczej, kuźniczej i spawalniczej,
projektowania narzędzi i przyrządów w tych technikach, obliczania kosztów wytwarzania,
produkcyjnego sprawdzania wyrobów.

Wreszcie — w specjalności ruchu (opieki nad maszynami) nauka winna doprowadzić do umiejętności:
nadzoru nad ruchem maszyn, urządzeń energetycznych i pomocniczych w zakładach energetycznych czy fabrykach przetwórczych,
prowadzenia remontu maszyn,
obliczania kosztów produkcji.

Sposób organizacji wykładów, ćwiczeń rachunkowych, konstrukcyjnych i planowniczych, pomiarów w miejscu zainstalowania maszyn, doświadczeń w laboratoriach, winien opierać się na zespołowej pracy niewielkich grup studentów, kierowanych przez pomocniczy personel naukowy i fachowych instruktorów uczelni.

*) Tu i niżej jako przykład rozważany będzie wydział mechaniczny.
**) Przykład ten i następne mają jedynie charakter interpretacji zasady kierunkowości na tym kursie.

Wymaganie to jest nieodzowne także z uwagi na konieczność częstego powtarzania fragmentów programu szkoły średniej oraz wdrożenia studentów do systematycznej i planowej pracy, umożliwiającej szybkie opanowanie materiału.

Program studiów, jaki opracowany zostanie dla stopnia inżynierskiego, winien szczegółowo przewidywać nie tylko ilość godzin poszczególnych przedmiotów, ale i zakres szczegółowy danego przedmiotu.

Półroczna praktyka w przemyśle (semestr VII) stanowi integralną część nauki i służy zapoznaniu studenta z wytwórczością i ruchem maszyn w warunkach produkcji. Praktyka ta nie wyklucza włączenia do programu nauki szkolnej kilkutygodniowych praktyk, przewidzianych w okresach wakacyjnych, w przerwach między semestrami.

Wszystkie praktyki (studenckie i absolwenckie) winny być kierowane, to znaczy odbywać się według określonego rozkładu zajęć w specjalnie do tego celu wybranych zakładach przemysłowych, pod kierunkiem powołanych przez uczelnię w tych zakładach, spośród ich personelu fachowego, asystentów terenowych uczelni. Asystenci tacy poza czynnościami dydaktycznymi i kontrolą pracy studentów, odbywających praktyki, mogą mieć jeszcze z właściwą uczelnią ściślejsze powiązanie naukowe. Zagęści to sieć młodszych pracowników naukowych i zacieśni więź między wyższymi uczelniami a przemysłem.

4. Stopień II — magisterski.

Dyplomanci pierwszego stopnia (inżynierowie), w razie posiadania odpowiednich uzdolnień, stwierdzonych w toku studiów i praktyk, mogą być przyjęci na drugi stopień szkolenia — magisterski. Program szkolenia na stopniu magisterskim ma być przepisany na dwa lata, łącznie z pracą magisterską.

Kryteria, zastosowane wobec adeptów kursu magisterskiego, winny umożliwiać wstęp nań także osobom, które nie przeszły przez szkołę inżynierską, a w toku pracy zawodowej ujawniły zdolności naukowe, badawcze i twórcze. Kryteria te mogą być w przyszłości korygowane tak, aby procent wyselekcjonowanych adeptów stopnia magisterskiego odpowiadał potrzebom planowanego rozwoju nauk technicznych i badań, jako też wymaganiom życia gospodarczego.

Na stopniu magisterskim program winien być tak pomyślany, aby wykształcić inżynierów-magistrów, zdolnych do samodzielnej twórczej pracy w dziedzinie konstrukcyjnej, bądź technologicznej czy ruchu (opieki nad maszynami). Stosownie do tego na wydziałach zostałyby wyodrębione oddziały, czy sekcje. Poza tym mogłyby jeszcze zostać wydzielone inne specjalności, odpowiadające potrzebom polskiej techniki i gospodarki, na przykład: maszyn kolejowych, samolotów, samochodów, maszyn i urządzeń żeglugowych i portowych, mechanizacji robót budowlanych oraz maszyn budowlanych, maszyn rolniczych, przeróbki i obróbki drewna oraz maszyn do tej przeróbki itd.

Nauka na tym stopniu obejmuje zatem uzupełnienie i pogłębienie podstaw teoretycznych wiedzy technicznej oraz wykonanie prac konstrukcyjnych i laboratoryjnych systemem seminaryjnym, zaprawiającym do metodycznego myślenia i umiejętności kojarzenia.

Praca projektowania konstrukcyjnego winna być rozpoczynana po zebraniu przez projektanta doświadczeń nad ruchem maszyny, drogą obserwacji i badań w laboratorium politechnicznym oraz w zakładach przemysłowych.

Na tym stopniu szkolenia technicznego program winien przewidywać zapoznanie studentów z metodyką planowania produkcji i badań. Absolwenci stopnia magisterskiego winni mieć pełne kwalifikacje do rozpoczęcia samodzielnej pracy w instytutach zakładów naukowych i naukowo-badawczych instytutach przemysłu; winni być zaprawieni do samodzielnego rozwiązywania nastręczających się w toku pracy zagadnień technicznych. W tym celu powinni posiadać dostateczne przygotowanie teoretyczne oraz opanowaną metodykę badań naukowo-technicznych.

5. Szkoła inżynierska a politechnika.

Rozplanowanie nauki na obu stopniach powinno być realnie dostosowane ilością godzin do zakresu przedmiotów: winno uwzględnić czas potrzebny na osobiste opanowanie nauki podawanej na uczelni oraz studia książkowe w bibliotece ogólnej i bibliotekach zakładowych, wreszcie — opanowanie zadań rysunkowych i laboratoryjnych.

W konsekwencji takich wymagań, stawianych programom na każdym ze stopni, pierwszy stopień — inżynierski — stanowi jednolitą szkołę inżynierską we wszystkich punktach szkolenia technicznego. Politechniki różnią się od szkół inżynierskich posiadaniem stopni magisterskich na poszczególnych wydziałach.

Dana politechnika niekoniecznie musi mieć prawo magistrowania na wszystkich posiadanych w stopniu inżynierskim wydziałach. Dla każdej z politechnik należy wybrać wydziały, których obsada i wyposażenie materialne gwarantują osiągnięcie poziomu niezbędnego do wyszkolenia magistra nauk technicznych.

Istnienie jednego czy kilku wydziałów, wyposażonych w studium magisterskie, nadaje każdej z politechnik określony profil, ułatwiając wybór uczelni młodzieży o zarysowanych zainteresowaniach. Takimi wydziałami typowymi dla danej politechnik mogłyby być: na Politechnice Gliwickiej — Wydział Metalurgiczny, na Politechnice Gdańskiej — Wydział Budowy Okrętów, na Politechnice Łódzkiej — Wydział Włókienniczy.

Byłoby pożądane, aby tradycja Politechniki Warszawskiej mogła być zachowana posiadaniem przez nią stopni magisterskich na wszystkich wydziałach.

Oznaczając nazwy wydziałów stopnia pierwszego (inżynierskiego) małymi literami:

tj. wydział mechaniczny — m
„ elektryczny — e
„ chemiczny — ch

i tak dalej, a odpowiednie stopnie drugie (magisterskie) dużymi literami początkowymi nazw wydziałów, możemy schematycznie oznaczyć strukturę poszczególnych szkół:

1. Szkoła inż.	2. Politechn. typowa	3. Politechn. szczególna
m	x + X	m + M
e	y	e + E
ch	z + Z	ch + Ch
. . . .	. . . .	. . . .

Opracowanie dobrych programów, zadość czyniących naszkicowanym wyżej ogólnym wytycznym, na pewno nie jest rzeczą łatwą.

Wątpliwe, czy uda się zrobić to od razu w sposób nie wymagający późniejszej korekty. Usunięcie usterek stwierdzonych w toku praktyki na pewno jest możliwe, a spowodowane błędami skutki nie będą chyba groźne. Daleko groźniejsze byłoby schematyczne podejście do zagadnienia i próba ułożenia programów dla szkół każdego z opisanych stopni przy pomocy istniejących programów uczelnianych i — nożyczek...

Nie można należycie opracować programu dla żadnego z opisanych stopni szkolenia technicznego metodą dziecinnej składanki, opartej na dotychczas obowiązujących programach naszych politechnik. Należy sobie uprzytomnić, że chodzi tu o stworzenie dwu nowych typów wyższej szkoły technicznej. Tylko z takim przeświadczeniem wolno podchodzić do przygotowania nowych programów i przeorganizowania istniejących punktów wyższego szkolenia technicznego w Polsce.

6. Zalety dwustopniowości szeregowej.

Proponowana reforma organizacji wyższego szkolnictwa technicznego w Polsce znamienna jest szeregiem zalet. W wyniku jej wprowadzenia w pierwszym rzędzie wzrośnie dopływ wysoko kwalifikowanych kadr technicznych do przemysłu, komunikacji, odbudowy i innych dziedzin życia gospodarczego. Wzrost tego dopływu wynika tak dobrze ze skrócenia średniego czasu studiów w wyższych szkołach technicznych, jak i z przesunięcia punktu ciężkości kształcenia na studia stopnia inżynierskiego. Osiągnięcie zarówno przez inżynierów, jak i magistrów nauk technicznych szybszej i głębszej specjalizacji jest jeszcze jedną dodatnią cechą proponowanej struktury szkolnictwa. Dalszą jej szczególnie z punktu widzenia społecznego cenną zaletą jest likwidacja dyskryminacji społecznej, nieodłącznej od istniejącej dwustopniowości równoległej, jako też usunięcie przyczyn kompleksu niższości u jednych, czy nadmiernie wysokiego mniemania o sobie u innych spośród absolwentów dziś istniejących w Polsce wyższych szkół technicznych.

Możliwość wyboru zakresu studiów nie przed ich rozpoczęciem, gdy adept nie zna ani swoich możliwości, ani obiektywnych trudności przyswajania wiedzy, lecz w chwili, gdy elementy te są studiującemu znane, to jest w momencie kończenia szkoły inżynierskiej, ograniczy do minimum decyzje przypadkowe i — śmiemy twierdzić — przyczyni się do podniesienia poziomu wiedzy studiujących, zwłaszcza na stopniu magisterskim; ulegną bowiem eliminacji — znane przecie i nie rzadkie — wypadki, gdy profesorowie ze względów emocjonalnych zaliczali nieudane egzaminy mocno już zasiedziałym na uczelni studentom.

Wreszcie wskazać trzeba i na to, że system daje możność regulacji stosunku ilości inżynierów do magistrów przez zastosowanie właściwej selekcji między stopniami. Kryteria tej selekcji, jak to już wspomnieliśmy, można by w sposób operatywny dostosowywać do planów szkolenia kadr.

Mówiąc o kryteriach, raz jeszcze podkreślamy, że przejście przez stopień inżynierski nie powinno być warunkiem sine qua non wstępu na stopień magisterski. Studium magisterskie winno być dostępne tak dobrze inżynierowi, niezależnie od momentu ukończenia przez niego uczelni, jak i tym uzdolnionym pracownikom przemysłu, komunikacji, czy odbudowy, którzy wykazali w toku pracy uzdolnienia i cechy charakteru, jakich wymagamy od adeptów stopnia magisterskiego.

7. Warunki wprowadzenia systemu.

Wprowadzenie w życie opisanej reorganizacji wyższego szkolnictwa technicznego w Polsce jest możliwe przy zachowaniu warunków, których pominięcie czyni reformę nie tylko nieprzydatną, ale wręcz szkodliwą.

Jakież są te warunki?

Pierwszym z nich to doinwestowanie punktów szkolenia technicznego. Objąć ono musi rozszerzenie wąskich przekrojów szczególnie przykrych w zakresie przepustowości laboratoriów i pracowni. Muszą tu być przeprowadzone zarówno prace budowlane, jak i uzupełnienie urządzeń i unowocześnienie aparatury.

Drugim warunkiem jest wydatne powiększenie personelu nauczającego. Istniejący stan rzeczy jest wyraźnie niezadowalający. Wystarczy przejrzeć tablicę I.

Wynika z niej że na ogółem 434 katedry sześciu naszych politechnik (łącznie z Akademią Górniczą) 17,3% katedr nie jest obsadzonych, a 30% obsadzone jedynie zastępcami profesorów.

Tablica I. Obsada katedr w politechnikach

Politechnika	Liczba wydziałów	Liczba katedr	Liczba katedr nieobsadzonych	Liczba katedr obsadzonych zastępcami
Gdańsk	6	91	21	21
Gliwice	4	59	7	14
Kraków*)	7	99	6	41
Łódź	4	43	14	12
Warszawa	6	106	17	24
Wrocław	2	36	7	18
Razem	29	434	75	130

*) Liczby dotyczą Akademii Górniczej z wydziałami politechnicznymi łącznie.

Jeszcze mniej korzystnie przedstawia się sprawa w zakresie pomocniczego personelu naukowego. Ilustracją służyć może zestawienie w tabl. II.

Widać jasno, że kadry najwyżej kwalifikowanego personelu nauczającego nie są dostatecznie podbudowane. Jeśli uwzględnić, że w roku akademickim 1947/8 było zapisanych na wszystkie politechniki krajowe łącznie 16 401 studentów z następującym podziałem według roku studiów:

I	II	III	IV
4399	5266	4272	2464

to otrzymamy jako charakterystyczne średniówki takie liczby studentów przypadające

na jednego wykładowcę 45,5,
„ „ adiunkta 32,4,
„ „ asystenta 17,7.

Powoduje to przeciążenie profesorów, niemożność indywidualizowania ćwiczeń, lecz traktowanie ich w masie bez osobistego oddziaływania na studenta ze strony profesora lub jego zastępcy, docenta, adiunkta czy asystenta.

Należy przyśpieszyć zainicjowane przez Radę Główną do Spraw Nauki prace wstępne i spowodować, aby:

po pierwsze — istniejące a wyczerpane wydawnictwa techniczne oraz materiały gotowe do druku i znajdujące się w rękopisie były jak najrychlej opublikowane;

po wtóre — sporządzono bilans najdotkliwszych braków w zakresie wydawnictw technicznych i ułożono plan ich usunięcia bądź poprzez tłumaczenia, które mogą szybciej się ukazać, bądź przez rozmieszczenie zamówień na prace oryginalne;

po trzecie — zorganizowano akcję wydawniczą dzieł objętych planem, opartą nie na zasadach kalkulacji kupieckiej, lecz na sile nabywczej użytkowników tych książek.

Ubogość naszej literatury technicznej i wielorakie trudności, istniejące na drodze korzystania z literatury obcojęzycznej, czynią to zagadnienie szczególnie aktual-

Tablica II. Skład personelu nauczającego w politechnikach

Politechnika	Profesor. zwyczajni	Profesor. nadzwycz.	Zastępcy profesorów	Docenci etatowi	Adiunkci		Asystenci starsi	Asystenci młodsi
Gdańsk	15	24	21	—	21	62	96	64
Gliwice	15	27	14	—	18	52	80	54
Kraków*)	28	13	41	—	25	96	131	99
Łódź	9	13	12	—	21	46	65	43
Warszawa	39	24	24	4	18	73	117	51
Wrocław	4	10	19	—	15	57	72	55
Razem	110	121	130	4	118	386	561	366

*) Liczby dotyczą Akademii Górniczej z wydziałami politechnicznymi łącznie.

Sprawa jest tym niebezpieczniejsza, iż z masy młodszego personelu nauczającego winni zostać wyselekcjonowani następcy dzisiejszych profesorów, których wiek średni jest nieprzeciętnie wysoki. Im szczuplejsze kadry młodszego personelu naukowego, tym mniejsze szanse dodatnich wyników takiej selekcji i ograniczone perspektywy rozbudowania naszej profesury.

Obok konieczności powiększenia kadr nauczających istnieje paląca potrzeba wydatnego powiększenia etatów pomocniczych personelu technicznego uczelni (instruktorzy, laboranci, mechanicy precyzyjni itd.). Potrzebne to jest zarówno dla zapewnienia należytej pracy uczelni, jak i z dodatkowych powodów.

Na uczelniach wyższych dostatecznie obsadzonych przez precyzyjnych mechaników, zręcznych laborantów, utalentowanych rzemieślników-specjalistów, wykonywujące się często pod okiem profesorów czułe precyzyjne urządzenia pomiarowe i laboratoryjne. Nasz przedwojenny dorobek w tym zakresie (Kraków — urządzenia do dokładnego pomiaru małych odcinków czasu, Warszawa — aparatura z dziedziny ebulioskopii i kalorymetrii) dowodzi, że mamy doskonały materiał ludzki i potrafimy przy jego powiększeniu i pielęgnacji znacznie przewyższyć osiągnięte kiedyś rezultaty. Rozmiarami produkcji przemysłowej i jej nowoczesnością nieprędko doścignięmy przodujące w tym zakresie kraje, ale w dziedzinie, gdzie nieodzowna jest duża ilość robocizny wysoko kwalifikowanego rzemieślnika, możemy pokusić się o osiągnięcie jednego z pierwszych miejsc w świecie.

Trzecim warunkiem powodzenia reformy jest wydatne powiększenie kwot na prowadzenie laboratoriów, pracowni itp. Laboratoria cieplne, elektryczne, wytrzymałościowe, a przede wszystkim chemiczne wymagają poważnych świadczeń na prawidłowe utrzymanie ich w ruchu. Dotychczasowe pozycje budżetowe na te cele były niejednokrotnie wręcz humorystycznie małe.

Nie można wyszkolić inżyniera bez zaprawienia go do praktycznej pracy w laboratoriach i pracowniach.

Czwartym warunkiem jest należyte wyposażenie i rozszerzenie bibliotek wyższych uczelni i bibliotek zakładowych. Zagadnienie to wiąże się bezpośrednio z koniecznością ułożenia planu wydawnictw technicznych, obejmujących zarówno dzieła treści dydaktycznej, jak monografie i sprawozdania z prac techniczno-badawczych.

nym. Wydaje się celowe, aby tę część pracy wziął na siebie Państwowy Instytut Wydawniczy.

Wyżej wyłuszczone warunki sprowadzają się do dodatkowych kredytów inwestycyjnych i wzrostu sum budżetowych, przewidzianych na wyższe uczelnie techniczne.

Spełnienie tych wymagań — jakkolwiek stanowi junctim z samą reformą — sprawy nie wyczerpuje.

Piątym warunkiem, obciążającym tym razem Ministerstwo Przemysłu i Handlu, jest dobór fabryk i zakładów, które przyjmować będą na praktyki studentów i absolwentów wyższych szkół technicznych. Należy odrzucić złą tradycję wysyłania praktykantów byle gdzie, jeśli się żąda, aby korzyść z praktyki osiągnięta przestała być byle jaka.

Wybrane jako miejsca praktyk studenckich przedsiębiorstwa i fabryki winny być dobrze wyposażone, nowocześnie urządzone i sprężyście kierowane. Ich organizacja powinna przewidywać okresowy przepływ przez poszczególne oddziały elementu obcego, fachowo surowego, nie związanego z rytmem produkcji, nie wciągniętego w walkę załogi o wykonanie planu. Te cechy praktykantów ze szkół inżynierskich uczyniłyby z nich zawadę w normalnym ruchu przedsiębiorstw i fabryk, jeżeli jednym z zadań wybranych zakładów pracy nie byłoby właśnie programowe i planowe przeszkolenie praktyczne ekipy studentów i absolwentów szkół inżynierskich.

Zadanie zapewnienia fabryce produkcyjnego toku pracy, a z drugiej strony stworzenie warunków, w których praktykanci zapoznają się z procesem technologicznym, organizacją pracy zakładu, urządzeniami i działaniem maszyn, nie jest zadaniem łatwym, ale wykonane być musi.

Z praktyką studentów wiąże się konieczność powołania spośród fachowców personelu wybranych fabryk i przedsiębiorstw, terenowych asystentów uczelni wyższej, co stanowi szósty warunek konieczny dla powodzenia omawianej reformy.

Asystenci terenowi będą odpowiedzialni za ułożenie planu praktyki studenta w zakładzie pracy, kontrolę jej przebiegu we wszystkich fazach oraz ocenę wyników pracy studenta na praktyce. Odpowiedzialność dydaktyczna i organizacyjna asystenta terenowego za poziom praktycznego szkolenia studentów, czy absolwentów,

wymaga ścisłej współpracy zainteresowanych ministerstw i ich wzajemnie powiązanych agend terenowych.

Kontakt asystentów terenowych z uczelniami wyższymi przyczyni się do zapewnienia świeżości tematyki zajęć praktycznych na uczelni, podniesie poziom pozauczelnianej pracy studentów, zwiększy naukową aktywność szerokiej rzeszy asystentów terenowych, stwarzając jeszcze jeden kanał penetracji wyższych uczelni w życie przemysłu. Obok wyżej wyłuszczonych, dotyczących bądź miejsca studiów, bądź personelu nauczającego, istnieją jeszcze trzy dodatkowe warunki, obejmujące życiowe sprawy studentów. Należą tu: 1) rozbudowa systemu stypendiów, 2) rozbudowa domów akademickich, burs i stołówek, 3) udostępnienie pomocy naukowych.

Akcja stypendialna, obejmująca przecież tysiące młodzieży studiującej, jest dziś nieskoordynowana, wielotorowa, rozproszkowana, nie podporządkowana żadnemu centralnemu planowi. Proponujemy na początek ewidencyjne jej ujęcie jako stadium poprzedzające dyspozycje według planu.

Równocześnie regulować należy wysokość stypendiów, nie mogą być one symboliczne; wysokość stypendium powinna zapewnić stypendyście spokojną pracę, wyżywienie, odzież i niezbędne minimum rozrywek kulturalnych.

Ilość stypendiów powinna wzrosnąć do takich rozmiarów, aby mogła objąć całą zdolną, żądną wiedzy młodzież niezamożną przede wszystkim chłopską i robotniczą — tych wszystkich, którym warunki materialne w kapitalistycznym ustroju Polski przedwojennej zamykały drogę do studiów wyższych.

Rozbudowa domów akademickich i burs winna być tak zaprojektowana, aby znalazła w nich pomieszczenie największa możliwie część młodzieży przybyłej z prowincji.

W domach i bursach winien obowiązywać ścisły kodeks, surowo kontrolowany przez samorząd mieszkańców, a zapewniający należyte warunki wytężonej pracy umysłowej. Wytworzona w domach akademickich i bursach atmosfera winna odpowiadać wysokim zadaniom, jakie ciążą na naszej młodzieży.

Rozbudowa systemu stypendialnego oraz burs i domów akademickich pomoże nie tylko usprawnić studia, ale i ułatwić przechodzenie dyplomantom pierwszego stopnia z uczelni nie mającej prawa magistrowania na danym wydziale na uczelnię, posiadającą te prawa.

Istotną dla studenta sprawą jest ponadto możność rozporządzania niezbędnymi pomocami naukowymi. Tymczasem zdobycie dzisiaj rysownicy, przyrządów kreślarskich, cyrkli, suwaka rachunkowego, czy kalendarzy technicznych nastręcza techniczne i materialnie znaczne trudności. Należy je zmniejszyć i udostępnić młodzieży studiującej zaopatrzenie się w te niezbędne dla niej narzędzia pracy. Wydaje się słuszne rozszerzenie w tym celu działalności Państwowych Zakładów Pomocy Szkolnych na wyższe uczelnie.

Celowe wykorzystanie wytworzonych takimi środkami warunków studiów wymaga uzupełnienia właściwymi sposobami informowania młodzieży o strukturze wyższego szkolnictwa technicznego, warunkach studiów w poszczególnych ośrodkach naukowych itp.

Nowa nie znajdująca analogii w dotychczas panującym u nas systemie szkolnictwa jego organizacja winna być co rychlej młodzieży znana.

Uważamy za rzecz pożyteczną wydawanie co roku odpowiedniego przewodnika dla maturzystów, zawierającego informacje o sieci szkół, warunkach przyjęcia do nich, organizacji nauczania, kosztach pobytu w ośrodku uczelni, działających tam instytucjach studenckich itd. Widzimy tu szczególnie wdzięczne pole działania dla Związku Młodzieży Polskiej który na pewno jest w stanie zorganizować dobrze działające, kompetentne i przepojone duchem życzliwości dla nowowstępujących na uczelnie poradnie młodzieżowe.

8. Wnioski końcowe.

Omówiliśmy zasady proponowanej reformy wyższego szkolnictwa technicznego w Polsce, wytyczne dla opracowania programów nauczania oraz warunki, jakie należy spełnić, aby skutki wprowadzanych zmian dały najbardziej dodatnie wyniki. Wskazaliśmy mimochodem na instytucje i organizacje, które mogą podjąć się wykonania części pracy, jaką trzeba wykonać.

Gdzie będzie centralny ośrodek koordynacji wszystkich — jak widać wielokierunkowych działań?

Czynione są tu i ówdzie sugestie, aby odpowiedzialność i gestię w całości omówionej sprawy powierzyć resortowi najistotniej zainteresowanemu w jej pomyślnym rozwiązaniu, tj. Ministerstwu Przemysłu i Handlu.

Pragniemy — zastrzegając się, że jest to osobisty pogląd autora — przeciwstawić się tym opiniom.

W okresie początkowym budowania naszego życia państwowego po drugiej wojnie światowej słuszne było — nawet nieodzowne — organizowanie dziedzin życia nie według ustalonego szablonu, a stosownie do rzeczowych powiązań najbardziej bezpośrednio dotyczących sfery działania przemysłu. Stąd organizacja własnego aparatu aprowizacyjnego, ba! rolniczej podstawy wyżywienia dla szeregu fabryk, stąd wielka praca przygotowawcza kadr pracowników przemysłu.

W okresie jednak, gdy życie ulega coraz pełniejszej stabilizacji, gdy powołane do istnienia instytucje okrzepły i pracują normalnie, warto może poddać rewizji utrzymanie istniejącego rozdziału w dziedzinie szkolnictwa technicznego, tym bardziej nie należy go pogłębiać.

Dążenie do coraz jaśniejszej „buchalterii narodowej" wymaga postawienia sprawy potrzeb wyższego szkolnictwa technicznego w całej jego rozciągłości. Niezbędne na jego rozbudowę i reorganizację sumy nie staną się mniejsze przez fakt wpisania ich do budżetu innego niż dotąd ministerstwa.

Omawiamy sprawę kapitalnego znaczenia dla rozwoju naszego gospodarstwa narodowego.

Czyż jest przeto rzeczą właściwą starać się ją przemycić w gromadzie obcych tematycznie tytułów inwestycyjnych i budżetowych? Sprawę koniecznych nakładów finansowych trzeba postawić odważnie i mocno, uruchamiając wszystkie dźwignie, jakie poruszyć należy, aby osiągnąć powodzenie.

Takie stanowisko nakłada na Ministerstwo Oświaty dodatkowe ciężkie obowiązki. Toteż wydaje się, że dziś bardziej niż kiedykolwiek jest na czasie wspomniana już przez nas*) potrzeba utworzenia w Ministerstwie Oświaty Podsekretariatu Stanu dla Spraw Szkolnictwa Technicznego. Postulat ten z innych jeszcze względów wymaga urzeczywistnienia.

Rozbudowany aparat szkoleniowy stworzony przez Ministerstwo Przemysłu i Handlu żyje dziś swoim życiem, poza sferą oddziaływania Ministerstwa Oświaty.

W roku szkolnym 1948—49 w 14-tu (spośród 18-tu) Centralnych Zarządach Przemysłu istnieć będą:

- 64 szkoły przysposobienia przemysłowego
- 281 szkół przemysłowych
- 185 gimnazjów przemysłowych
- 50 liceów przemysłowych

ogółem 580 szkół z okrągło 110 tysiącami uczniów.

Wydaje się, że dojrzała do realizacji sprawa wiązania dwu — dziś niezależnych od siebie — systemów szkolnictwa w resortach Oświaty i Przemysłu i Handlu.

Zespalanie masowej bazy szkoleniowej, stworzonej przez przemysł w proporcji do istniejących i rosnących jego potrzeb, z systemem wyższego szkolnictwa technicznego wynika zarówno z konieczności zachowania drożności całego systemu, jak i zapewnienia mu jednolitego i planowo działającego kierownictwa.

Istniejący stan rzeczy na dalszą metę utrzymać się nie da.

Urzeczywistnienie przyszłych planów gospodarczych zależy przede wszystkim od ludzi, którzy mają współdziałać w ich układaniu i wykonywaniu.

Wychowanie i wykształcenie tych ludzi jest przeto jednym z najpilniejszych zadań dnia dzisiejszego.

---

*) Przegląd Techniczny, 1948, nr 6.

STANISŁAW SZPOR

Dzisiejszy stan zagadnień wyłącznikowych
w świetle prac M. K. W. S. 1948 r.

Treść. Wymagania co do mocy wyłączalnej. Przegląd metod pośrednich sprawdzania mocy wyłączalnej i nowe udoskonalenia metod syntetycznych. Sprawy związane z częstotliwością własną napięcia powrotnego. Dane konstrukcyjne i eksploatacyjne o wyłącznikach powietrznych, małoolejowych i olejowych. Samoczynne włączanie ponowne.

Злободневные вопросы в области выключателей (на основании работ CIGRE 1948 г.). Требования по отношению к выключаемой мощности. Обзор косвенных методов контроля выключаемой мощности и последнее усовершенствование синтетических методов. Вопросы связанные с собственной частотой возвратного напряжения. Конструкционные и эксплоатационные данные для пневматических и масляных (с малым и большим об'емом масла) выключателей. Повторное автоматическое включение.

Present State of the Problems of Circuit Breakers According the Work of the CIGRÉ 1948. Requirements as to the breaking capacity. Survey of the indirect methods of testing and of new perfected synthetic methods. Problems pertaining to the natural frequency of the recovery voltage. Construction data for various circuit breakers and practical experience in networks. Automatic reclosing.

État actuel des questions de disjoncteurs, d'après les travaux de la CIGRÉ en 1948. Exigences relatives au pouvoir des coupure. Revue des méthodes indirectes d'essais à grand puissance et nouveaux perfectionnements des méthodes synthétiques. Problèmes de la fréquence propre de la tension de rétablissement. Données sur la construction et sur l'exploitation de disjoncteurs à air comprimé, à volume d'huile réduit et à bain d'huile. Réenclenchement automatique.

1. Wstęp.

Zagadnienia wyłącznikowe należały do najciekawszych i najszerzej omawianych na tegorocznej sesji Międzynarodowej Konferencji Wielkich Sieci w Paryżu. Grupa wyłącznikowa była najbogatsza w referaty: zaliczono do niej 15 referatów, a 3 referaty pokrewne były dyskutowane w innych grupach: transformatorów oraz stateczności i samoczynnego włączania ponownego. Podczas Konferencji odbyło się zebranie Komitetu Wyłącznikowego M. K. W. S., które dorzuciło kilka ciekawych uwag do dyskusji i wytknęło kierunki dalszych prac Konferencji Wielkich Sieci w dziedzinie wyłączników.

Komitet Wyłącznikowy M. K. W. S. (Comité International d'Etudes des Interrupteurs de la CIGRÉ) rozwija ożywioną działalność pod kierunkiem Szwajcarów. Referat sekretarza Komitetu Puppikofera (w imieniu przewodniczącego prof. Juillarda) wskazuje na d w a g ł ó w n e t e m a t y prac Komitetu w ostatnim okresie: 1) próby pośrednie wyłączników, 2) częstotliwość własna (lub stromość wzrostu) napięcia powrotnego. Są to zarazem tematy większości referatów wyłącznikowych. Pozostałe referaty omawiają głównie sprawy konstrukcyjne, próby wyłączników w sieciach oraz zagadnienie samoczynnego włączania ponownego.

2. Wymagania stawiane nowoczesnym wyłącznikom.

Wymagania co do m o c y w y ł ą c z a l n e j wyłączników wykazują jeszcze skłonność do wzrostu, a liczby wysuwane obecnie przewyższają znacznie to, co pamiętamy z czasów przedwojennych.

Bresson [2] zestawia obecne w y m a g a n i a f r a n c u s k i e:

dla napięcia	15	60	150	220 kV,
moc wyłączalna	1500	2500	3500	5000 MVA.

Dla napięcia 380 kV przewiduje się 7 500 MVA.

W S t a n a c h Z j e d n o c z o n y c h mówi się o mocy 5 000 MVA dla 138 kV, oraz o mocy 10 000 MVA dla 230 kV na najbliższą przyszłość [4]. W związku z tymi żądaniami przeprowadzono próby w wielkiej elektrowni Grand-Coulee [16]. Do prób wzięto cztery typy wyłączników olejowych o znamionowej mocy wyłączalnej 3 500 MVA. Na pojedyńczych biegunach wykonano szereg wyłączeń zwarć pojedyńczych z ziemią (przy bezpośrednim uziemieniu punktu zerowego sieci). Opierając się na wartościach asymetrycznego prądu wyłączanego (przy wybitnej asymetrii), autorzy doszli do wniosku, że próby te odpowiadały trójfazowym mocom wyłączanym do około 7 500 MVA.

Ten rekordowy wynik uległ pewnej dewaluacji w wyniku krytyki ze strony europejskiej. Przypomniano bowiem, że w praktyce europejskiej operuje się raczej prądem wyłączanym symetrycznym (mniejszym od asymetrycznego przy asymetrii) oraz że według przepisów CEI próba jednofazowa dla sprawdzenia trójfazowej mocy wyłączalnej wymaga 1,5-krotnego napięcia fazowego (w próbach w Grand-Coulee tylko napięcie fazowe). W tłumaczeniu na język europejski należy więc zredukować 7 500 MVA do ok. 4 000 MVA. Autorzy amerykańscy wyciągają ze swych prób wniosek, że szybkie opracowanie żądanych wyłączników na 10 000 MVA przy 230 kV nie powinno przedstawiać dla przemysłu zbyt wielkich trudności.

Na szczególną uwagę zasługują warunki techniczne dla s z w e d z k i c h w y ł ą c z n i k ó w na 350/385 kV [13]. Dla zwarć wskazano moc wyłączalną 8 000 MVA przy 350 kV oraz ten sam prąd wyłączalny przy 380 kV. Poza tym dodano warunek 4 razy mniejszego prądu wyłączalnego przy 800 kV; ta wielka wartość napięcia wskazuje, że Szwedzi liczą się poważnie z niebezpieczeństwem wyłączania przy przeciwności faz po dwóch stronach wyłącznika. Wprowadzono też wymagania w sprawie wyłączania mniejszych prądów indukcyjnych i pojemnościowych, ażeby zapewnić prawidłowe wyłączanie linii biegnących luzem, transformatorów biegnących luzem lub obciążonych indukcyjnie.

Zwarciownie nie nadążają za wymaganiami co do mocy wyłączalnej [3, 4]. Obecnie największe laboratoria pozwalają osiągać wartości do 2 000—2 500 MVA. Realizacja zwarciowni do 5 000 MVA również nie zaspokoi najostrzejszych wymagań sieciowych. Dlatego próby pośrednie (zastępcze) posiadają i prawdopodóbnie zachowają w przyszłości wielkie znaczenie dla przemysłu, rozszerzając możliwości laboratoryjne w kierunku wyłączników na większe moce wyłączalne.

3. Próby pośrednie.

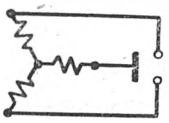
Próby pośrednie (zastępcze) polegają na zastosowaniu źródła o mocy zwarciowej mniejszej od mocy wyłączalnej wyłącznika. Obecnie posiadamy wiele rozwiązań opartych na różnych zasadach. Każde z nich posiada pewne słabe punkty w porównaniu z metodą bezpośrednią. Oceniając należycie znaczenie prób pośrednich, Komitet Wyłącznikowy wysunął je na jedno z pierwszych miejsc w swym programie prac. Chodzi o systematyczne porównanie metod pośrednich z metodą bezpośrednią i o wskazanie najodpowiedniejszych metod pośrednich. Istnieje nawet nadzieja, że uda się dojść do wskazówek międzynarodowych dla prób pośrednich.

W tym celu powierzono Vogelsangerowi [3] opracowanie r e f e r a t u p o r ó w n a w c z e g o o istniejących metodach pośrednich. Vogelsanger zaproponował pewną klasyfikację metod, omówił krytycznie ważniejsze sposród nich, oraz dołączył do referatu bardzo pożyteczny spis literatury wraz ze streszczeniami, obejmujący 31 publikacji z lat 1927—1946. Klasyfikacja Vogelsangera obejmuje 4 grupy.

a) P r ó b y n a p o j e d y ń c z e j c z ę ś c i w y ł ą c z n i k a w i e l o p r z e r w o w e g o czyli wyłącznika posiadającego w każdym biegunie szeregowy układ wielu przerw. Taka próba zastępcza na części bieguna wymaga tylko napięcia cząstkowego, tak że przy określonym prądzie wymagana moc zwarciowa źródła wypada znacznie mniejsza od mocy wyłączalnej całego wyłącznika. Dla wyboru napięcia cząstkowego konieczna jest znajomość rozkładu napięcia powrotnego na poszczególne przerwy bieguna. Poza tym należy ograniczyć tę metodę do takich wyłączników, w których przerwa jest odgrodzona od wpływu procesów w pozostałych przerwach. Warunek ten jest spełniony na przykład w wyłącznikach ze sprężonym powietrzem na bardzo wysokie napięcia. W dwuprzerwowym biegunie wyłącznika olejowego natomiast mamy wspólne wytwarzanie ciśnienia przez łuk elektryczny w obu przerwach, tak że próba zastępcza na jednej przerwie nie jest dostateczna.

Układ Biermannsa pozwala na jednoczesną próbę zastępczą obu przerw wyłącznika przez zręczne wyzyskanie zespołu trójfazowego dla pojedyńczego bieguna dwuprzerwowego (przypadek wyłącznika z oddzielnymi kotłami dla każdej fazy). Zasadę tę podaje rys. 1.

b) Metoda oddzielnych prób wielkoprądowych i wysokonapięciowych wchodzi w rachubę tylko dla takich wyłączników, w których wyłączenie jest zależne od napięcia powrotnego raczej w krytycznym obszarze niezbyt wielkich prądów, niż przy największych prądach, zbliżonych do prądu wyłączalnego. Metoda pozwala na znaczne obniżenie napięcia w próbach wielkoprądowych, gdzie granica prawidłowego wyłączania jest związana z naprężeniami mechanicznymi od gazów wytwarzanych przez łuk. Ponieważ obniżenie napięcia wywiera jednak pewien wpływ na energię wydzielaną w łuku, niektórzy autorzy zalecają obostrzenie próby wielkoprądowej przez podwyższenie częstotliwości własnej napięcia powrotnego lub przez zwiększenie prądu. Próbę wielkoprądową pod obniżonym napięciem uzupełnia się przez próbę pełnonapięciową przy mniejszych prądach, mianowicie w obszarze krytycznym.

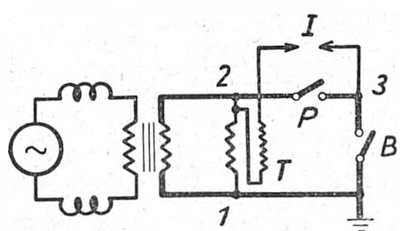


Rys. 1. Układ dla próby zastępczej według Biermannsa

Bresson [2] omawia szczegółowo kilka przykładów zastosowania tej metody. Wyłącznik pneumatyczny z opornikiem (zasada stosowana również w przemyśle polskim) przerywa łuk wielkoprądowy przez przerzucenie go na pomocniczą przerwę, posiadającą opornik szeregowy. Napięcie powrotne pojawia się wtedy na głównej przerwie z prędkością niezależną od częstotliwości własnej sieci, mianowicie z prędkością maksymalną $R \omega I \sqrt{2}$, jeżeli R oznacza oporność szeregową wyłącznika, ω pulsację, I wartość skuteczną prądu. Autor referatu wywodzi że o zgaszeniu łuku decyduje tutaj ta maksymalna prędkość wzrostu napięcia powrotnego, a nie jego wartość szczytowa. Dlatego próbę wielkoprądową można przeprowadzić przy znacznie obniżonym napięciu. Drugim przykładem Bressona jest wyłącznik małoolejowy na bardzo wysokie napięcia. Przerywanie największych prądów, zbliżonych do wyłączalnego, jest tutaj mniej więcej niezależne od wysokości napięcia powrotnego, tak że można poprzestać w próbach na obniżonym napięciu. W obszarze krytycznym prądów stosunkowo niewielkich, rzędu kilkuset amperów, rola napięcia powrotnego jest natomiast bardzo poważna, tak że próby pod pełnym napięciem są konieczne.

c) Próby syntetyczne polegają na dostarczaniu wielkiego prądu wyłączanego i wysokiego napięcia powrotnego z różnych źródeł. Źródło wielkiego prądu może posiadać moc zwarciową znacznie mniejszą od mocy wyłączalnej badanego wyłącznika. Dodatkowe źródło wysokiego napięcia powrotnego realizuje się różnymi sposobami, które Vogelsanger dzieli na 2 podgrupy.

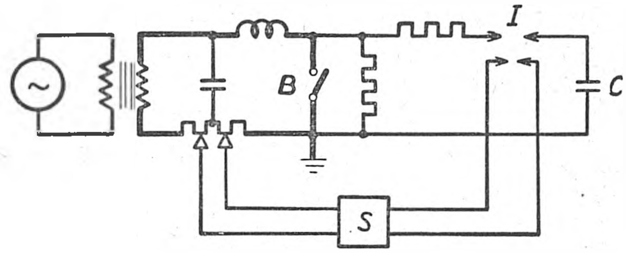
c_1) Układy ze wzmocnieniem napięcia powrotnego za pomocą transformatora. Prototypem jest układ Skeatsa, przedstawiony na rys. 2. Obwód wielkoprądowy, wykreślony grubą linią, posiada oprócz badanej przerwy wyłącznikowej *B* jeszcze przerwę pomocniczą *P*. Dodanie tej przerwy sprawia, że do wyłącznika badanego *B* można doprowadzić wysokie napięcie powrotne ze stosunkowo słabego źródła pomocniczego *T* bez efektu zwarciowego ze strony źródła wielkoprądowego.



Rys. 2. Układ ze wzmocnieniem napięcia powrotnego według Skeatsa

Wysokie napięcie powrotne w punkcie *3* otrzymujemy z transformatora pomocniczego, który jest zasilany po stronie pierwotnej znacznie niższym napięciem powrotnym obwodu wielkoprądowego, występującym między punktami *1*, *2* po jednoczesnym zgaszeniu łuku w obu przerwach *B*, *P*. Zasada ta wymaga zgodnego działania przerw *B*, *P* po naturalnym przejściu wielkiego prądu zmiennego przez zero; przerwy powinny jednocześnie gasić łuk albo też dawać ponowny zapłon i zamykać obwód wielkoprądowy na następny półokres. Dlatego przerwę *P* realizuje się podobnie do *B*; na przykład wyzyskuje się dwie jednakowe przerwy wyłącznika wieloprzerwowego. Pomimo to przerwa *P* posiada większe możliwości zgaszenia, niż przerwa *B*, ponieważ na *P* występuje trochę niższe napięcie powrotne, niż na *B*; różnica jest napięciem pierwotnym transformatora *T*. Szczegół ten utrudnia znacznie próby takich wyłączników, które mogą gasić łuk po wielu półokresach prądu. Może bowiem zdarzyć się, że po kilku półokresach z ponownymi zapłonami w obu przerwach nastąpi zgaszenie tylko w *P*; wtedy zapłon ponowny w *B* zapoczątkowuje łuk tylko o mniejszym prądzie z transformatora *T*, co oczywiście psuje dalszy bieg próby.

c_2) Układy z kondensatorem jako źródłem wysokiego napięcia powrotnego. Najdawniejszy układ Marxa, pokazany na rys. 3, posiada równoległe zasilanie badanego wyłącznika *B* przez źródło wielkoprądowe (obwód wykreślony grubą linią), oraz przez źródło kondensatorowe napięcia powrotnego. Istnieją również układy z szeregowym zasilaniem wyłącznika z dwóch źródeł (szeregowe wstrzykiwanie napięcia powrotnego do obwodu wielkoprądowego). Źródło kondensatorowe działa podobnie do generatora udarów, dając napięcie nieustalone o kształcie zależnym od stałych obwodu. Wyzwolenie napięcia powrotnego przez iskiernik *I* jest synchronizowane z przejściem prądu zmiennego przez zero; do tego celu służy układ *S*, który wywołuje w odpowiedniej chwili zapłon w przerwie pomocniczej iskiernika *I*. Ujemną stroną układów z kondensatorem jest brak składowej ustalonej napięcia powrotnego, co może być niekiedy czynnikiem łagodzącym. Poza tym poważną przeszkodą jest wielki koszt kondensatorów, które muszą posiadać znaczne pojemności wobec efektu zwierającego ze strony obwodu wielkoprądowego.



Rys. 3. Układ z kondensatorem jako źródłem wysokiego napięcia powrotnego według Marxa

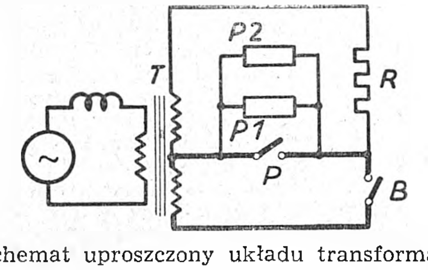
d) Inne metody pośrednie według klasyfikacji Vogelsangera są różnorakie. Zaliczono tutaj próby wyłączników pneumatycznych przy obniżonym ciśnieniu, próby syntetyczne ze źródłem prądu stałego jako źródłem wielkoprądowym, układy indukcyjnościowo-pojemnościowe (rezonansowe) do wytwarzania wielkiego prądu zmiennego.

Z tych czterech grup metody syntetyczne (c) wysuwają się na pierwszy plan dzięki najszerszym możliwościom zastosowania w miejsce prób bezpośrednich. Grupy a) i b) są odpowiednie tylko w szczególnych przypadkach. To samo można powiedzieć o niektórych metodach w grupie d).

Porównanie w grupie c) najprostszych układów transformatorowych (c_1) i kondensatorowych (c_2) pozwala stwierdzić po obu stronach pewne zalety i pewne ujemne strony. Zalety wiążą się z dwoma szczegółami schematów: z wyłącznikiem pomocniczym w podgrupie c_1, z synchronizacją w podgrupie c_2. Szereg udoskonaleń metod syntetycznych idzie w kierunku połączenia tych dwóch szczegółów.

Bresson [2] opisuje udoskonalony układ transformatorowy, który zapewnia prawidłowe działanie

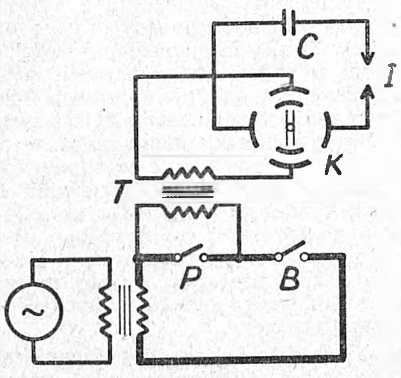
również przy następnych przejściach prądu przez zero. Schemat uproszczony na rys. 4 przedstawia zwykłe elementy układu transformatorowego· przerwę badaną *B*, przerwę pomocniczą *P*, transformator podnoszący *T* (połączony tutaj z transformatorem wielkoprądowym w jedną całość, konstrukcja trójuzwojeniowa). Poza tym układ posiada dodatkowe gałęzie *P 1*, *P 2*, które zapewnia-



Rys. 4. Schemat uproszczony układu transformatorowego

ją pożądane zasilanie wyłącznika *B*, jeżeli on gasi łuk dopiero przy jednym z następnych przejść prądu przez zero. Zadaniem przerwy *P* jest tylko wyłączenie przy pierwszym przejściu prądu przez zero. Jeżeli wyłącznik *B* daje wtedy ponowny zapłon, to zamknięcie obwodu wielkoprądowego następuje przez gałąź *P 1* w bardzo krótkim czasie, poniżej 0.001 s, a przy najbliższym przejściu prądu przez zero odbywa się przerwanie w tej gałęzi. Jeżeli wyłącznik *B* daje znowu zapłon, to w grę wchodzi podobnie następna gałąź *P 2*. Synchronizacja w gałęziach *P 1*, *P 2* jest opisana w referacie niezbyt dokładnie. Zamknięcie obwodu otrzymuje się za pośrednictwem łuku elektrycznego, który jest zapalany pod działaniem spadku napięcia na oporności szeregowej *R* w chwili zapłonu ponownego w wyłączniku *B* (po przerwaniu obwodu wielkoprądowego przez *P* lub przez *P 1*); w sprawie sposobu zapalenia łuku nie znajdujemy wyjaśnień. Przerwanie obwodu w *P 1* lub w *P 2* uzyskuje się za pomocą drutu topikowego w strumieniu sprężonego powietrza. Na podstawie prób przeprowadzonych na wyłącznikach pneumatycznych i małoolejowych autor referatu stwierdza, że jego metoda zastępuje dobrze próby bezpośrednie.

Również Teszner, Thibaudat i Descans [4] omawiają szczegółowo kilka metod syntetycznych. Rys. 5 przedsta-



Rys. 5. Udoskonalony układ kondensatorowy

wia jedną z nich, mianowicie u d o s k o n a l o n y u k ł a d k o n d e n s a t o r o w y. Obwód wielkoprądowy posiada oprócz przerwy badanej *B* jeszcze przerwę pomocniczą *P*. W ten sposób unika się, podobnie jak w układzie transformatorowym, efektu zwarciowego dla obwodu wysokonapięciowego ze strony obwodu wielkoprądowego. Dzięki temu można poprzestać na znacznie słabszych kondensatorach na przykład ok. 1 MVA zamiast 15 MVA. W szereg ze źródłem kondensatorowym mamy komutator wirujący synchronicznie *K* do właściwego wyboru znaku napięcia powrotnego oraz iskiernik synchronizujący *I* do włączania przy przejściu prądu przez zero. Rys. 5 nie pokazuje szczegółów układu synchronizującego; referat omawia obszernie zagadnienie synchronizacji. Wstrzyknięcie napięcia powrotnego odbywa się za pośrednictwem transformatora *T*.

Blaha [5] zajmuje się metodami syntetycznymi nie tylko na prąd zmienny, lecz również na prąd stały. Proponowany przez niego u k ł a d k o n d e n s a t o r o w y na prąd zmienny posiada również pomocniczy organ wyłączający w obwodzie wielkoprądowym dla ograniczenia wielkości kondensatora. Blaha proponuje dość skomplikowaną grę synchronizacji oraz wskazuje na możliwości kilkakrotnego zamykania obwodu wielkoprądowego przez pomocniczy organ wyłączający (podobieństwo do rozwiązań Bressona).

Dyskusja na M. K. W. S. przyniosła jeszcze wzmianki o kilku innych układach syntetycznych. Zainteresowanie tą dziedziną jest wielkie, ale energetycy patrzą jeszcze niechętnie na takie metody sprawdzania wyłączników przy odbiorze i wskazują na konieczność przeprowadzania prób w sieciach elektrycznych, gdy moc laboratoriów okazuje się niedostateczna. Komitet Wyłącznikowy dąży do wyjaśnienia tych wątpliwości i zachęca zainteresowanych do dalszych prac.

Nie należy spodziewać się, ażeby metody syntetyczne pozwoliły na zastosowanie źródeł o mocy zwarciowej równej bardzo małemu ułamkowi mocy wyłączalnej badanego przyrządu. Napięcie źródła musi bowiem być dostatecznie wielkie w porównaniu z napięciem łuku w wyłączniku, ażeby krzywa wielkiego prądu była prawidłowa (niezbyt odbiegająca od sinusoidy). W dyskusji rzucono liczbę 3 jako odpowiedni dla wielu przypadków stosunek napięcia znamionowego przyrządu do napięcia źródła wielkoprądowego. Oczywiście stosunek ten może być większy lub mniejszy zależnie od typu wyłącznika.

4. Częstotliwość własna (stromość) napięcia powrotnego.

Zagadnienia częstotliwości własnej napięcia powrotnego były na ostatniej sesji M. K. W. S. tematem kilku referatów i licznych wypowiedzi w dyskusji. Zagadnienia te można podzielić na t r z y g r u p y:

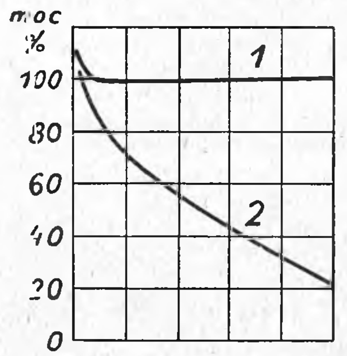
1) zależność działania wyłącznika od częstotliwości własnej napięcia powrotnego,

2) częstotliwości własne w sieciach elektrycznych,

3) wymagania stawiane próbom laboratoryjnym w sprawie częstotliwości własnej.

Niestety, istnieją jeszcze różnice między poszczególnymi autorami co do sposobu operowania c z ę s t o t l i w o - ś c i ą w ł a s n ą lub s t r o m o ś c i ą w z r o s t u napięcia powrotnego. Referaty szwajcarskie [1, 9] i holenderski [8] posługują się raczej pojęciem częstotliwości własnej. Referat szwedzki [6] operuje stromością wzrostu (rate of rise). W przypadkach nakładania się kilku częstotliwości własnych Puppikofer [1] charakteryzuje sieć jedną częstotliwością zastępczą, biorąc w rachubę stromość stycznej $(u/t)_{max}$. Hammarlund i Johansen [6] operują stromością stycznej $(u/t)_{max}$. Komitet Wyłącznikowy podejmuje prace nad usunięciem tej dwoistości. Dwaj referenci, zwolennicy przeciwnych metod (Lindström — Szwecja oraz Saint-Germain — Francja) podjęli się zebrania i przedstawienia argumentów w tej sprawie.

W p ł y w c z ę s t o t l i w o ś c i w ł a s n e j n a p i ę c i a p o w r o t n e g o n a m o c w y ł ą c z a l n ą jest zależny od typu wyłącznika. Puppikofer [1] zestawia charakterystyki mocy wyłączalnej w funkcji częstotliwości, które



Rys. 6. Zależność mocy wyłączalnej od częstotliwości własnej

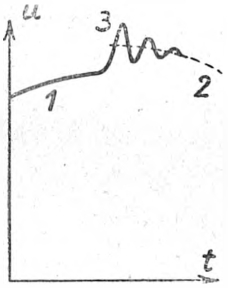
są powtórzone na rys. 6. Krzywa *1* dla wyłącznika małoolejowego na 10 kV (przykład wyłącznika z gaszeniem własnym) przedstawia w szerokim obszarze niezależność mocy od częstotliwości. Krzywa *2*, pokazująca wybitne malenie mocy przy wzroście częstotliwości, odpowiada wyłącznikowi pneumatycznemu na 10 kV bez oporników pomocniczych (przykład wyłącznika z gaszeniem obcym).

Puppikofer wskazuje na zadziwiającą zgodność takich charakterystyk wyłączników pneumatycznych firm Siemens BBC i Oerlikon. Wyłączniki pneumatyczne firmy ASEA natomiast posiadają według Lindströma (dyskusja) inne charakterystyki: w szerokim obszarze częstotliwości własnych stałą moc wyłączalną. Poza tym należy pamiętać, że charakterystyka opadająca nie tyczy się w żadnym razie wyłączników pneumatycznych z opornikami pomocniczymi (również konstrukcje polskie), ponieważ opornik uniezależnia wyłącznik od częstotliwości własnej urządzenia.

Konferencja przyniosła ciekawe materiały w sprawie częstotliwości własnej w sieciach elektrycznych, wyniki wytężonych prac w kilku krajach. W sieciach istnieje wielka rozmaitość warunków, tak że dopiero zbadanie wielkiej liczby przypadków pozwala wyciągnąć ostateczne wnioski co do częstotliwości własnych. Stosuje się obecnie badania doświadczalne i rachunkowe. Porównanie wyników doświadczalnych i obliczeniowych w kilku krajach [6, 8, 9] wskazuje niezłą zgodność.

Metody rachunkowe są omówione w załączniku do referatu Puppikofera [1], opracowanym przez Vogelsangera. Rozpatrywane układy sprowadza się do prostych schematów zastępczych, posiadających jedną lub dwie częstotliwości własne. We wszystkich przypadkach ostateczny wynik jest wyrażony w postaci jednej częstotliwości zastępczej.

Wybierając metodę doświadczalną określania częstotliwości własnej, należy pamiętać, że energetycy patrzą niechętnie na próby zwarciowe w sieciach, zwłaszcza proby na większą skalę i w licznych punktach sieci. Kurth [10] opisuje metodę, która nie powoduje zakłóceń ruchu. Polega ona na wyłączaniu dławika pomocniczego w badanym miejscu sieci i na oscylografowaniu zmiany napięcia. Rys. 7 przedstawia taką krzywą napięcia w funkcji czasu; odróżniamy tu niższą sinusoidę *1* przy włączonym dławiku, wyższą sinusoidą podstawową *2* przy wyłączonym dławiku, oraz oscylacje własne *3*. Ażeby różnica między poziomami *1* i *2* była wyraźna, wybiera się dławik na prąd dostatecznie wielki, na przykład rzędu 1/10 prądu zwarciowego sieci. Częstotliwość własna jest taka sama, jak przy wyłączaniu zwarcia, ponieważ w grę wchodzą te same stałe obwodu. W dyskusji wspomniano o podobnych pracach prof. Fourmariera (Belgia), który udoskonala metodę przez kompensację w oscylografie składowej podstawowej napięcia; w ten sposób można uzyskać oscylogram z wyraźniejszymi oscylacjami własnymi nawet przy operowaniu stosunkowo niewielkim obciążeniem.



Rys. 7. Zmiana napięcia przy wyłączaniu dławika (metoda doświadczalna określania częstotliwości własnej)

Puppikofer [1] podaje na podstawie badań szwajcarskich szereg charakterystyk częstotliwości własnych w różnych miejscach sieci w funkcji napięcia znamionowego. Wykres ten, powtórzony na rys. 8, przedstawia następujące alternatywy:

1) elektrownie bez transformatorów i bez linii dołączonych — a) w przypadku prądnic z wystającymi biegunami, b) w przypadku turbogeneratorów;

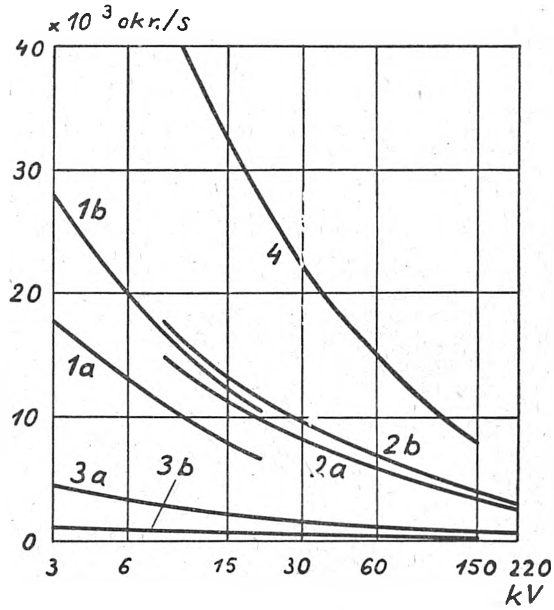
2) elektrownie z transformatorami i bez linii dołączonych — a) w przypadku prądnic z wystającymi biegunami, b) w przypadku turbogeneratorów;

3) elektrownie lub podstacje ze znaczną siecią dołączoną — a) napowietrzną, b) kablową;

4) podstacje bez dołączonych odpływów, ale z zasilaniem przez znaczne sieci.

Wykres wskazuje na wybitne zmniejszanie się częstotliwości własnych przy wzroście napięcia znamionowego. Pomimo to stromość napięcia powrotnego rośnie przy zwiększaniu napięcia znamionowego, gdyż iloczyn częstotliwości własnej przez napięcie rośnie. Badania szwedzkie [6] dają dość zbliżone stromości napięcia powrotnego dla różnych napięć znamionowych od 6 do 220 kV. Największe stromości w Szwecji osiągają ok. 6 600 V/μs.

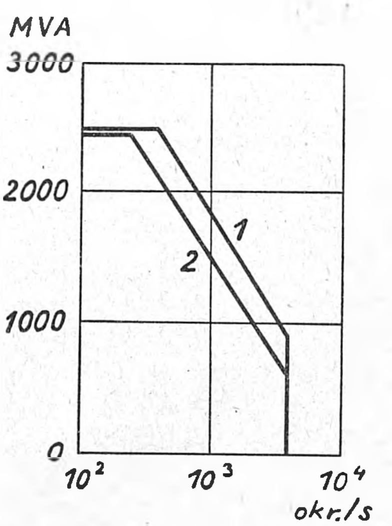
Rys. 8 przedstawia dla każdego napięcia znamionowego wielką rozmaitość częstotliwości własnych zależnie od



Rys. 8. Zależność częstotliwości własnej od napięcia

miejsca w sieci i od chwilowego schematu (od włączenia linii). Najwyższe częstotliwości według charakterystyk *1*, *2*, *4* występują oczywiście bardzo rzadko, mianowicie przy odłączonych liniach i odpływach. Te rzadkie przypadki są szczególnie niebezpieczne w podstacjach umieszczonych w miejscach o wielkiej mocy zwarciowej (charkterystyka *4*). W elektrowniach częstotliwości własne wypadają niższe (charakterystyki *1* i *2*). Znaczne obniżenie częstotliwości własnej wchodzi często w grę dzięki dołączonym liniom (charakterystyki *3*).

Ponieważ w różnych miejscach sieci występują różne moce zwarciowe, przeto można przedstawić wyniki takich badań w postaci charakterystyki mocy wyłączanej w funkcji częstotliwości własnej. Uzyskuje się w ten sposób doniosłe wskazówki, jakim wymaganiom powinny odpowiadać wyłączniki. Rys. 9 przedstawia takie charakterystyki dla sieci na 220 kV: *1* w Szwajcarii (wyniki Thommena), *2* w Szwecji (wyniki Hammarlunda), powtórzone według Thommena [9]. Zgodność tych dwóch charakterystyk jest zadziwiająca. Wskazują one, że najwyższe częstotliwości własne występują



Rys. 9. Doświadczalne wyniki badania częstotliwości własnej przy różnych mocach wyłączanych

przy mniejszych mocach wyłączanych i że największe moce wyłączane idą w parze raczej ze znacznie niższymi częstotliwościami. Pochodzi to stąd, że największe moce zwarciowe otrzymuje się przy włączonych liniach o wielkich pojemnościach.

Przyczynek do danych o częstotliwościach własnych w sieciach znajdujemy również w referacie Pailleta i Dufoura [11], którzy przedstawiają wyniki swych badań teoretycznych i doświadczalnych nad częstotliwością własną transformatorów. Autorzy ci sprawdzili słuszność wzoru empirycznego na częstotliwość własną:

$$f_0 = \frac{k \sqrt{\log U_n}}{U_n} W^{1/4},$$

gdzie U_n — napięcie znamionowe w woltach, W — moc znamionowa w woltoamperach, k — spółczynnik zależny od konstrukcji; dla transformatorów firmy Charleroi $k = 8.10^6$.

Wprowadzenie wymagań w sprawie częstotliwości własnej do przepisów na wyłączniki nie jest rzeczą łatwą wobec wielkiej rozmaitości warunków w sieciach. Puppikofer [1] zestawia propozycje angielskie, francuskie i szwajcarskie, opierając się na materiałach przedstawionych w Komitecie Wyłącznikowym. Powtarzamy tabelę porównawczą Puppikofera, przedstawiającą częstotliwości własne dla prób wyłączników w funkcji napięcia znamionowego (tabl. 1). Liczby francuskie odpowiadają wzorowi:

Tablica 1. Częstotliwości własne w zależności od napięcia znamionowego

Anglia		Francja		Szwajcaria		
					przy 100% znam. mocy wyłączaln.	przy 50% znam. mocy wyłączaln.
kV	10^3 okr./s	kV	10^3 okr./s	kV	10^3 okr./s	10^3 okr./s
6,6	20			0 ... 6	4	20
11	15	11	15	10	3	15
		22	10,6	20	1,8	9
33	8	33	8,9	30	1.4	7
				45	1,1	5,5
66	5	66	6,2	60	0,9	4,5
				80	0,7	3,5
132	3,5	132	4,35	150	0,5	2,5
220	2,5	230	3,3	220	0,4	2

$$f_0 = \frac{40\,000}{\sqrt{U_n}},$$

gdzie U_n napięcie znamionowe w kilowoltach, a f_0 częstotliwość w okr./s.

Jak wskazuje tablica, częstotliwości proponowane w Szwajcarii są wybitnie złagodzone dla pełnej mocy wyłączalnej, a 5-krotnie wyższe częstotliwości są wymagane tylko dla połowy mocy wyłączalnej. Taka zależność częstotliwości od mocy może być uzasadniona własnościami sieci elektrycznych. Poza tym odpowiada ona charakterystykom niektórych wyłączników pneumatycznych bez oporników pomocniczych. Thommen [9], który dyskutuje tę sprawę szczegółowo, jest zwolennikiem związania najwyższej częstotliwości z jedną trzecią znamionowej mocy wyłączalnej. Zresztą Thommen przyznaje, że możliwe są przypadki takich sieci, w których wyłączaniu największych mocy zwarciowych towarzyszą najwyższe częstotliwości własne. Są to sieci, w których wielka elektrownia dostarcza sama większą część energii.

Dyskusja na M. K. W. S. przyniosła zdecydowaną krytykę propozycji szwajcarskich jako zbyt łagodnych. Również propozycje angielskie i francuskie są zbyt niskie w porównaniu z możliwymi warunkami sieciowymi. Delegaci szwajcarscy nie bronili swego projektu, a delegaci angielscy i francuscy stwierdzili na posiedzeniu Komitetu Wyłącznikowego, że dyskutowane liczby nie są jeszcze dojrzałymi propozycjami krajowymi. Wobec tego można spodziewać się, że w niedalekiej przyszłości będą wysunięte ostrzejsze projekty w sprawie częstotliwości własnych dla prób wyłączników.

5. Zagadnienia konstrukcyjne, przepięcia łączeniowe.

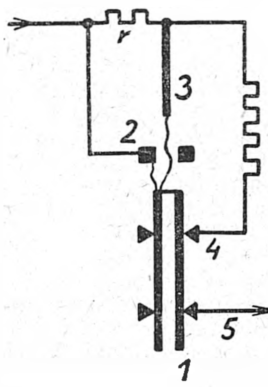
Cztery referaty poświęcone wyłącznikom pneumatycznym, brak referatów na temat wyłączników małoolejowych i tylko jeden referat amerykański o wyłącznikach olejowych — to tylko pozory, że wyłącznik pneumatyczny zdobył na ostatniej sesji M. K. W. S. przewagę nad innymi typami wyłączników. W dyskusji powracano kilkakrotnie do porównań między wyłącznikami pneumatycznymi i małoolejowymi. Porównania te nie wypadły niekorzystnie dla wyłączników małoolejowych.

Jak omówiono w rozdziale poprzednim, wyłączniki małoolejowe przedstawiają korzystną niezależność mocy wyłączalnej od częstotliwości własnej napięcia powrotnego w szerokim obszarze częstotliwości, a charakterystyki co najmniej niektórych wyłączników pneumatycznych bez oporników pomocniczych wykazują znaczne malenie mocy przy wzroście częstotliwości. Poza tym wyłączniki małoolejowe posiadają mniejszą skłonność do wytwarzania przepięć łączeniowych przy przerywaniu małych prądów pojemnościowych (bieg luzem linii) oraz indukcyjnych (bieg luzem transformatora). Zwolennicy wyłączników pneumatycznych nie pozostają bezradni wobec tych trudności i mają jeszcze duże pole pracy nad udoskonaleniami. Wyjaśnia to stosunkowo znaczną liczbę referatów o wyłącznikach pneumatycznych.

Kurth [15] przeprowadza rozważania nad zastosowaniem oporników pomocniczych w wyłącznikach pneumatycznych, rozróżniając tutaj dwa zadania: 1) łagodzenie przepięć łączeniowych przy wyłączaniu transformatorów biegnących luzem i 2) uniezależnienie wyłączania wielkich prądów zwarciowych od częstotliwości własnej napięcia powrotnego (ułatwienie wyłączania i zwiększenie mocy wyłączalnej).

Niebezpieczeństwo przepięć przy wyłączaniu małych prądów indukcyjnych pochodzi stąd, że wyłącznik pneumatyczny daje bardzo silne gaszenie łuku również przy małym prądzie, co powoduje sztuczne przerwanie prądu znacznie przed naturalnym przejściem sinusoidy przez zero. Środkiem zaradczym jest szeregowe wtrącenie opornika; zdaniem autora referatu najkorzystniejszą jest oporność równa jedno- do dwukrotnej oporności pozornej dla biegu luzem transformatora, a więc oporność stosunkowo duża.

Z drugiej strony wyłączanie wielkich prądów zwarciowych wymaga raczej małej oporności na przykład rzędu kilku omów. Dla pogodzenia obydwu warunków Kurth wysuwa rozwiązanie z dwoma stopniami opornika szeregowego. Rys. 10 przedstawia schematycznie jedną z możliwych realizacji. Przy wyłączaniu łuk zapala się między stykiem ruchomym 1 a głównym stykiem nieruchomym 2. Następnie strumień sprężonego powietrza powoduje przerzucenie łuku z *2* na styk pomocniczy *3*, z wtrąceniem opornika szeregowego *r* o mniejszym oporze. Dalszym etapem jest zgaszenie łuku między *1* i *3* dzięki równoległemu włączeniu opornika *R* o większej oporności. Niewielki prąd resztowy, ograniczony przez oporność sumaryczną $(r + R)$, ulega wreszcie przerwaniu po odsunięciu *1* od styku ślizgowego *4*. Dodatkową korzyścią tego rozwiązania jest włączanie za pośrednictwem opornika *R*, co łagodzi asymetryczne przetężenia przy włączaniu transformatora na bieg luzem.



Rys. 10. Zastosowanie dwu oporników pomocniczych — szeregowego i bocznikowego

W dyskusji Thommen wystąpił w obronie rozwiązań z pojedyńczym opornikiem. Wyłączniki takie posiadają również bardzo wielkie moce wyłączalne i nie wytwarzają nadmiernych przepięć łącze-

niowych. Przy wyższych napięciach nominalnych potrzeba oporników pomocniczych jest zdaniem Thommena mniejsza.

Lindström [13] opisuje takie wyłączniki pneumatyczne na bardzo wysokie napięcia firmy ASEA. Wyłącznik na 220 kV posiada szeregowy układ 6 przerw wyłączających. Autor referatu omawia sposoby zapewnienia jednoczesności otwierania i dmuchania na wszystkich piętrach wyłącznika. Trudność polega na tym, że główny kanał powietrzny, posiadający znaczną długość, doprowadza sprężone powietrze wyraźnie później do ostatniej (górnej) przerwy niż do pierwszej (dolnej). Konstrukcja ASEA posiada równolegle do kanału głównego jeszcze kanał pomocniczy o mniejszym przekroju, pozwalający uzyskać jednoczesność działania we wszystkich przerwach. W procesie wyłączania uzyskuje się najpierw napełnienie obu kanałów sprężonym powietrzem, a ciśnienie w kanale pomocniczym wstrzymuje przez pewien czas ruch styków. Dopiero nagłe opróżnienie kanału pomocniczego zapoczątkowuje wyłączanie we wszystkich przerwach. Lindström omawia oscylacje ciśnienia w kanale głównym i wskazuje, że pożądane jest otwarcie styków przed pierwszym wierzchołkiem ciśnienia. Dobre doświadczenie z tymi wyłącznikami skłania firmę ASEA do podobnego rozwiązania również wyłączników na 350/385 kV dla linii Harspranget-Hallsberg. Będą one posiadać po 8 przerw szeregowych w każdym biegunie. Wymagania techniczne są omówione w rozdz. 2.

Mc Neill [12] przedstawia angielskie wyłączniki pneumatyczne na 132 kV i omawia szczegóły urządzeń pneumatycznych. Autor referatu wypowiada się za systemem dwuciśnieniowym: z wyższym ciśnieniem w zbiorniku głównym, z niższym ciśnieniem w rurach rozprowadzających (na przykład 42 i 21 kg/cm²). System ten pozwala uzyskać łatwo dobre odwodnienie.

M. Poma [14] omawia dobre wyniki uzyskane z wyłącznikami pneumatycznymi w sieciach belgijskich. Wnioski przyznają pierwszeństwo temu rodzajowi wyłączników w urządzeniach wnętrzowych. Dla urządzeń napowietrznych nie ma jeszcze zupełnie pewnych wniosków.

Według Killgora i Clagetta [16] wyłączniki amerykańskie na 230 kV i na rekordową moc wyłączalną 10 000 MVA będą prawdopodobnie typu olejowego. Wstępne próby w elektrowni wodnej Grand-Coulee dały wyniki zadowalające. Dane konstrukcyjne w referacie są niezbyt jasne.

Referat Akopiana [17] przynosi bardzo ciekawe wiadomości o zakłóceniach przy wyłączaniu linii na 110 kV biegnących luzem wyłącznikami olejowymi z komorami. Zakłócenia te w sieciach radzieckich miały charakter poważny, były to bowiem wybuchy wyłączników. Autor referatu opisuje badania laboratoryjne przeprowadzone dla wyświetlenia mechanizmu tych wypadków. Zastosowany model wyłącznika olejowego z podwójną komorą posiadał styki unieruchomione, ustawiane na różne drogi łuku, który zapalano za pomocą odcinków drutu topikowego. Próby wykonano prądami różnych rodzajów, ażeby odtworzyć dwie grupy możliwych zjawisk w sieciach.

1) Prądy wyrównawcze przy powtórnych zapłonach łuku, znane zjawiska towarzyszące wyłączaniu pojemności (linii biegnących luzem), realizowano jako prądy oscylacyjne tłumione o długości półfali 650 μs lub jako prądy aperiodyczne, stosując wartości do około 1 300 A.

2) Druga seria prób odtwarzała warunki sieciowe bardziej skomplikowane, z wtórnymi zwarciami z ziemią, wywoływanymi przez przepięcia łączeniowe, towarzyszące wyłączaniu linii biegnącej luzem; takie zwarcia mogą powstawać w odgromnikach rurowych lub na innych drogach przeskoku; wobec bezpośredniego uziemienia punktu zerowego sieci prądy pojedyńczego zwarcia z ziemią wypadają znaczne; próby wykonano prądami zmiennymi do około 5 200 A.

Rejestracja ciśnienia w komorze dała w pierwszej serii prób wartości do około 45 kg/cm², a w drugiej serii do 60—70 kg/cm². Te najwyższe wartości w alternatywie drugiej mogą przekroczyć wytrzymałość mechaniczną komory. Autor dochodzi więc do wniosku, że wybuchy wyłączników przy wyłączaniu linii biegnących luzem występują tylko w tych wypadkach, kiedy przepięcia łączeniowe wywołują wtórne zwarcia z ziemią. Dla uniknięcia tych zwarć należałoby wybrać stosunkowo wysokie napięcia przeskoku odgromników rurowych; w sieci na 110 kV z uziemionym punktem zerowym wymagany poziom wynosiłby 3.5—4-krotne napięcie fazowe. Radykalnym środkiem zaradczym jest obniżenie przepięć łączeniowych za pomocą opornika włączanego równolegle do komory wyłącznika; dla wyłącznika na 110 kV autor zaleca oporności 5 000—6 000 omów na fazę.

6. Samoczynne włączanie ponowne, wyłączanie przy przeciwności faz.

Rozwój systemu samoczynnego włączania ponownego w Szwecji jest tematem referatu Janckego [18]. Bardzo szybkie włączanie ponowne stosuje się tam od roku 1933, ale w sieciach na najwyższe napięcia dopiero od roku 1944.

W sieciach szwedzkich na 11—44 kV rozwiązania mogą być bardzo proste dzięki promieniowemu układowi sieci. Szybkie włączanie ponowne stosuje się tutaj na wyjściu każdej linii. Wyłączniki w tych miejscach są uzależnione od przekaźników prądowych momentalnych. Rezygnuje się więc z wybiorczości, ażeby samoczynne włączanie ponowne obsługiwało całą linię, również za dalszymi wyłącznikami, które nie posiadają urządzeń do samoczynnego włączania ponownego. Według statystyki 82% zakłóceń usuwa się przez włączanie bardzo szybkie, a dodatkowo 14% przez drugie włączanie — po upływie 3 minut. Doświadczenie uczy, że czas przerwy bezprądowej (czas bardzo szybkiego włączania) nie może być mniejszy od 0,2 s ze względu na dejonizację łuku.

W liniach szwedzkich na 77—220 kV wyłączniki z samoczynnym włączaniem ponownym są uzależnione od przekaźników odległościowych (typ z polem wirującym); zasady wybiorczości są więc zachowane. Obecnie wszystkie wyłączniki zamawiane na te napięcia są przewidziane z samoczynnym włączaniem ponownym bardzo szybkim. Wybitne ograniczenie czasu zakłócenia (sumy czasu zwarcia i czasu włączania), na przykład do 0,5 s, bywa dyktowane przez rozważania nad statecznością pracy równoległej.

Naef i Wild [19] przedstawiają wyniki uzyskane z bardzo szybkim włączaniem ponownym w Szwajcarii, w liniach napowietrznych na 8 kV. Średnio 70—80% szybkich włączeń ponownych daje ostateczną likwidację zakłócenia (niezła zgodność z danymi szwedzkimi). W połowie pozostałych wypadków drugie włączenie ponowne — z większym opóźnieniem — udaje się. Czas przerwy bezprądowej (czas włączania) powyżej 0,05 s okazuje się dostatecznym przy prądach zwarciowych 3 000 do 8 000 A. Wybór czasu 0,1 s daje całkowitą pewność. Wyłączniki z samoczynnym włączaniem ponownym są uzależnione od przekaźników prądowych momentalnych, bez wybiorczości (podobnie jak w Szwecji). Referat omawia wyniki badań laboratoryjnych i sieciowych nad zachowaniem się maszyn synchronicznych i asynchronicznych przy krótkotrwałych przerwach prądu.

System szybkiego włączania ponownego sprowadza zwiększone niebezpieczeństwo wyłączania przy przeciwieństwie faz. Niebezpieczeństwo polega na tym, że po pierwszym wyłączeniu siły elektromotoryczne źródeł po dwóch stronach wyłącznika mogą szybko utworzyć znaczne przesunięcie fazowe. Jeżeli po samoczynnym włączeniu ponownym następuje drugie wyłączenie przy przeciwieństwie faz, to wyłącznik otrzymuje bardzo wysokie napięcie powrotne, nawet 2 razy wyższe, niż w najcięższych warunkach zwarciowych. Obecne przepisy nie przewidują tak ostrych prób dla wyłączników. Puppikofer (1) informuje, że Komitet Wyłącznikowy nie zapomina o tym problemie. Ostatnio rozesłano w tej sprawie kwestionariusz do komitetów krajowych. Pewne wymagania techniczne sformułowano już w Szwecji dla wyłączników na 350/385 kV [13], o czym była mowa w rozdz. 2.

SPIS REFERATÓW KONGRESOWYCH

(ułożony według tematów)

A) Sprawozdanie z prac Komitetu Wyłącznikowego

[1] E. Puppikofer. Rapport sur l'activité du Comité International d'Etudes des Interrupteurs, du 1-er Juillet 1946 au 1-er Juillet 1948. (Ref. 138)

B) Próby pośrednie

[2] Ch. Bresson (Delle, Francja). Essais indirects des interrupteurs. (Ref. 101)

[3] E. Vogelsanger (Oerlikon, Szwajcaria). Les essais indirects des disjoncteurs. (Ref. 122)

[4] S. Teszner, A. Thibaudat (Jeumont, Francja), F. Descans (Charleroi, Belgia). Sur les essais directs et indirects de disjoncteurs. (Ref. 129)

[5] A. Blaha (Czechosłowacja). Contribution aux essais indirects des disjoncteurs. (Ref. 132)

C) Częstotliwość własna (stromość) napięcia powrotnego

[6] P. E. Hammarlund, O. Johansen (ASEA), Szwecja). Tensions de rétablissement transitoires consécutives à la coupure des courants de court-circuit avec une référence spéciale aux réseaux électriques suédois. (Ref. 107)

[7] S. Rambaut (Belgia). Détermination de la tension aux bornes d'un interrupteur en fonction du courrant coupé, au moyen d'essais de coupure de faible intensité. (Ref. 111)

[8] D. Th. J. ter Horst (KEMA, Holandia). Les fréquences propres dans le réseau de transport d'energie à 150 kV des Pays — Bas. (Ref. 123)

[9] H. Thommen (BBC, Szwajcaria). De la question des oscillations électrodynamiques sollicitant les disjoncteurs à grande puissance. (Ref. 125)

[10] F. Kurth (Oerlikon, Szwajcaria). Fréquence de l'oscillation de la tension de rétablissement dans les réseaux à courant alternatif. (Ref. 139)

[11] G. Paillet, N. Dufour (Charleroi, Belgia). Études des fréquences propres et des impédances d'ondes des enroulements de transformateurs. (Ref. 109)

D) Zagadnienia konstrukcyjne i inne

[12] W. A. Mc Neill (Ferguson Pailin Co, W. Brytania). Les disjoncteurs pneumatiques. Alimentation en air comprimé et fonctionnement pneumatique. (Ref. 104)

[13] K. I. Lindström (ASEA, Szwecja). Disjoncteurs pneumatiques à 220 kV et au-dessus destinés aux grands réseaux suédois. (Ref. 105)

[14] M. Poma (Belgia). Considérations diverses au sujet de la technique des disjoncteurs à air comprimé. (Ref. 108)

[15] F. Kurth (Oerlikon, Szwajcaria). Examen de problèmes concernant le déclenchement de disjoncteurs à l'air comprimé. (Ref. 128)

[16] C. L. Killgore, W. H. Clagett (USA). Contribution au perfectionnement des disjoncteurs dans l'huile 230 kV à grande capacité de rupture. (Ref. 130)

[17] A. A. Akopian (ZSRR). Razruszenie masłanych wykluczatielej pri wykluczenii chołostych linij elektropieriedaczi wysokowo napriażenia. (Ref. bez num.)

E) Samoczynne włączanie ponowne

[18] G. Jancke (Szwecja). Expérience pratique en matière de réenclenchement automatique des disjoncteurs après défaut en ligne. (Ref. 306)

[19] O. Naef, J. Wild (Szwajcaria). Résultats d'exploitation et d'essais avec le réenclenchement rapide automatique dans un réseau aérien à 8 kV. (Ref. 331)

INŻ. H. S. KOZŁOWSKI

O obliczaniu nagrzewania się maszyn elektrycznych

Treść. Ogólny przegląd stosowanych dotychczas metod obliczania nagrzewania się maszyn elektrycznych. Na przykładzie podano sposób obliczania nagrzewania się małych i średnich maszyn elektrycznych — dokładniejszy od będących w użyciu prostych sposobów. Zaletą podanego sposobu jest to, że nie opiera się on na spółczynnikach zależnych od wielu parametrów naraz oraz że jest przejrzystszy i mniej wymaga czasu niż metoda analityczna, posługująca się równaniami różniczkowymi. Opisano projekt aparatu elektrycznego do obliczania przyrostów temperatury maszyn elektrycznych.

Расчет электрических машин на нагревание. Обзор применяемых доныне методов расчета. На примере показан способ расчета электрических машин малой и средней мощности более точный чем применяемые до сих пор простые способы. Преимущество его заключается в том, что он не пользуется коэффициентами, зависящими одновременно от нескольких параметров, что он понятнее и требует менее времени чем аналитический метод, основанный на дифференциальных уравнениях. Дается описание электрического прибора для подсчета приращения температуры в электрических машинах.

Computation of Temperature Rise in Electrical Machinery. General review of the methods so far applied for computing the rise of temperature in electrical machinery. Example showing a method of computing the temperature rise in small and medium electrical machinery, more accurate than the simple methods so far in use. The advantage of the method quoted is that it is not based on factors dependant on many parameters simultaneously, that it is more lucid and that it takes up less time than the analytical method based on differential equations. A description is given of an electrical device for computing temperature rise in electrical machinery.

Calcul des échauffements des machines électriques. Revue générale des méthodes de calcul des échauffements des machines électriques appliquées jusqu'à ce jour. Exemple d'un calcul d'échauffement de petites et moyennes machines électriques, lequel s'avère plus précis que les méthodes simples employées. Il se distingue par le fait de ne pas s'appuyer sur des coefficients dépendant de nombreux paramètres simultanément, d'être plus clair et de nécessiter moins de temps que la méthode analytique qui se sert des équations différentielles. Description d'un projet d'appareil électrique pour la prédermination de l'élévation de la température des organes des machines électriques.

1. Wstęp.

Obliczenie przyrostu temperatury jest jedną z najważniejszych części obliczenia maszyny elektrycznej. Zwykle bowiem nagrzewanie ogranicza moc maszyny. Pomimo to nie ma dotychczas uniwersalnej metody, która by nadawała się do obliczania grzania się maszyn wszelkiego rodzaju i wielkości i była zadawalająca pod względem dokładności wyników oraz prostoty rachunku i przejrzystości. Dlatego trzeba w różnych wypadkach stosować różne metody mniej lub więcej pozbawione przynajmniej jednej z wymienionych zalet.

Wybór metody najodpowiedniejszej nie jest rzeczą łatwą. Istniejące metody obliczania grzania się można podzielić z gruba na dwa rodzaje. Pierwszy rodzaj stanowią metody proste i niedokładne, w których do wzoru na przyrost temperatury wchodzą straty, powierzchnia chłodzona i empiryczny spółczynnik zależny od całego szeregu czynników, mających wpływ na przyrost temperatury uzwojeń, a mianowicie od wielkości i kształtu żelaza, w stosunku długości czół do długości części cewki leżącej w żłobku, rodzaju izolacji żłobkowej i izolacji czół, rodzaju powierzchni chłodzonej, szybkości powietrza, kierunku powietrza w stosunku do powierzchni chłodzonych, wymieszania powietrza itd. Spółczynnik ten musi być, oczywiście, wzięty z prób maszyn podobnych do projektowanej co do mocy, prędkości obrotów, jak również co do wartości innych wymienionych czynników, w przeciwnym razie otrzymamy rezultat obarczony tak dużym błędem, że może on mieć znaczenie co najwyżej orientacyjne. Metody te więc nie nadają się do obliczania maszyn konstrukcji nowej lub zmienionej co do stosunku wymiarów, rozkładu strat, materiałów itd. Nie nadają się również do obliczania maszyn wielkiej mocy indywidualnie fabrykowanych.

Niektóre podręczniki, jak np. Say and Pink (The Performance and Design of Alternating Current Machines, London, 1946) uzależniają ów empiryczny spółczynnik od jednego czynnika, w tym wypadku od prędkości powietrza chłodzącego, co pozwala stosować go przy zmianie tego jednego czynnika, jednak przy zmianie innych czynników traci on wartość; dlatego autorzy podają wartości tego spółczynnika jako zmienne w szerokich granicach i zastrzegają się, że powinien on być sprawdzony odpowiednimi próbami. Chodzi o próby na prototypach projektowanej serii lub przynajmniej na silnikach podobnej konstrukcji.

Trapieznikow w książce pt. „Osnowy projektirowania serij asynchronnych maszyn" (ONTI, 1937) na str. 128 podaje podobny spółczynnik pod postacią krzywych w zależności tylko od jednego czynnika, a mianowicie od zewnętrznej średnicy stojana. Jest to równoznaczne z założeniem, że jedne czynniki jak np. prędkość powietrza są w jednoznaczny sposób zależne od średnicy, inne jak np. przewodności właściwe izolacji są stałe dla wszystkich maszyn, dla których spółczynnika tego używamy. Dlatego autor ten ustala porządek projektowania serii w ten sposób, że po wyborze systemu i skorygowaniu spółczynników przy próbach prototypów następuje właściwe obliczenie typów maszyn serii.

Drugi rodzaj metod obliczania grzania posługuje się spółczynnikami zachowującymi swe znaczenie niezależnie od konstrukcji i innych czynników, a mianowicie: prze-

wodnościami właściwymi cieplnymi poszczególnych części maszyny, spółczynnikami oddawania ciepła od różnych powierzchni maszyny do powietrza itd. Powstaje wtedy konieczność powiązania matematycznego zjawisk cieplnych występujących w poszczególnych częściach maszyny w jedną całość. Czyni to Richter (Elektr. Masch., t I), układając równania różniczkowe dla temperatury czół, miedzi w żłobkach i żelaza w funkcji odległości wzdłuż osi maszyny. Rozwiązanie tych równań ma postać funkcji wykładniczych i wymaga, szczególnie dla maszyn o wentylacji osiowej, żmudnego rachunku. Pomiędzy równaniami podstawowymi i końcowymi wzorami na temperaturę rachunek jest nieprzejrzysty, wpływ poszczególnych czynników na ostateczny wynik nie jest wyraźnie widoczny.

Metody te nadają się bardzo dobrze dzięki swej dokładności i dzięki temu że opierają się na spółczynnikach otrzymywanych doświadczalnie niezależnie od konstrukcji, do obliczania dużych, indywidualnie projektowanych maszyn elektrycznych, szczególnie z wentylacją promieniową. Nie nadają się one natomiast do użytku np. przy projektowaniu serii maszyn małej i średniej mocy, gdzie liczba obliczanych typów maszyn (różne moce i różne obroty) wynosi często setki, tym bardziej że wentylacja osiowa zyskuje w tego rodzaju maszynach coraz to większe zastosowanie.

2. Metoda obliczania nagrzewania się maszyn seryjnych z wentylacją osiową.

Główne założenia metody nadającej się do obliczania tego rodzaju maszyn są następujące:

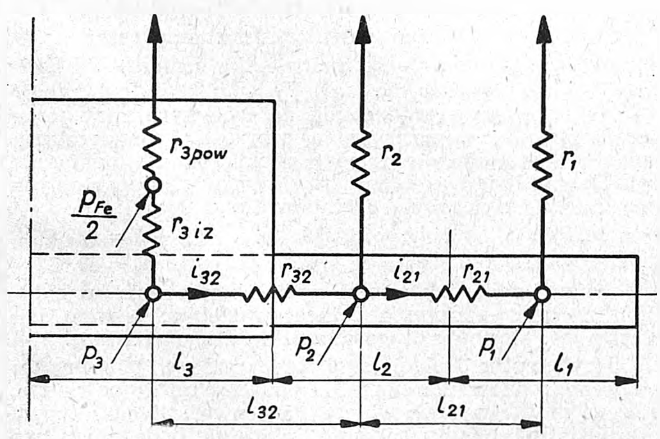
1) należy posługiwać się jedynie spółczynnikami otrzymywanymi doświadczalnie niezależnie od konstrukcji maszyny;

2) pewne niewielkie ustępstwo co do dokładności wyniku może być dopuszczone celem uproszczenia i rozjaśnienia strony matematycznej pod warunkiem, że nie wprowadzi ono spółczynników zależnych naraz od kilku czynników.

Robimy następujące założenia upraszczające: a) cała maszyna jest omywana powietrzem o średniej temperaturze, to jest temperaturze powietrza chłodzącego w środku długości maszyny o wentylacji osiowej; b) straty w miedzi są skupione w środkach odcinków uzwojenia fikcyjnie podzielonego na części i obliczone dla temperatury miedzi 75°C.

Na skutek założenia a) możemy maszynę traktować jako symetryczną pod względem rozkładu temperatury i ruchu ciepła w stosunku do środka pakietu blach. Czoła fikcyjnie rozcięte w środku i wyprostowane dzielimy na dwa odcinki: zapleciony (1), którego długość, dopóki nie mamy danych z nawijalni, przyjmujemy za równą połowie podziałki biegunowej, i pozostały odcinek czoła (2), w którym cała powierzchnia cewek jest omywana powietrzem.

Trzeci odcinek (3) stanowi część uzwojenia w żłobkach od początku do środka żelaza (rys. 1). Obliczamy w zwykły sposób straty w miedzi poszczególnych odcinków uzwojenia i straty w żelazie, opory cieplne miedzi pomiędzy środkami odcinków, opory cieplne izolacji odcinków (wszystkich cewek łącznie) oraz opory cieplne dróg, którymi ciepło oddaje się od powierzchni czół i żelaza do powietrza.



Rys. 1. Schemat uzwojenia maszyny

Wprowadzimy następujące oznaczenia:

$\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$	przyrosty temperatury odpowiednich odcinków uzwojenia (w stopniach C),
p_1, p_2, p_3	straty w miedzi tych odcinków (w watach),
p	straty w miedzi na jednostkę długości uzwojenia stojana (w W/cm),
p_{Fe}	straty w całym żelazie czynnym stojana (w watach),
i_{21}, i_{32}	prądy ciepła płynące między odcinkami uzwojenia (w watach),
l_1, l_2, l_3	długości odcinków (w cm),
l_{21}, l_{32}	odległości pomiędzy środkami odcinków (w cm),
r_{21}, r_{32}	opory cieplne miedzi uzwojenia stojana pomiędzy środkami odpowiednich odcinków (w °C/W),
$r_{1iz}, r_{2iz}, r_{3iz}$	opory cieplne izolacji odcinków (w °C/W),
r_{1pow}, r_{2pow}	opory cieplne przejścia od powierzchni odpowiednich odcinków czół do powietrza (w °C/W),
r_{3pow}	opór cieplny przejścia od powierzchni połowy żelaza stojana do powietrza (w °C/W),
r_1, r_2, r_3	całkowite opory cieplne pomiędzy odcinkami uzwojenia a powietrzem chłodzącym.

Stosując prawo Ohma do prądów ciepła możemy ułożyć równanie spadków temperatury na poszczególnych odcinkach obwodu cieplnego maszyny przedstawionego na rys. 1:

$$\vartheta_1 = (p_1 + i_{21})\, r_1$$
$$\vartheta_2 - \vartheta_1 = i_{21} \cdot r_{21}$$
$$\vartheta_2 = (p_2 + i_{32} - i_{21})\, r_2$$
$$\vartheta_3 - \vartheta_2 = i_{32} \cdot r_{32}$$
$$\vartheta_3 = (p_3 - i_{32})\, r_3 + \frac{p_{Fe}}{2}\, r_{3pow}$$

Rozwiązując ten układ równań znajdujemy przyrosty temperatury poszczególnych odcinków uzwojenia i prądy ciepła pomiędzy odcinkami.

Przejrzystość rachunku i ciekawe wnioski, które można z niego wysnuć, widoczne są dopiero podczas obliczania. Pokażemy więc to na przykładzie.

3. Przykład obliczania (stojan silnika).

Obliczmy przyrosty temperatury uzwojeń stojana silnika asynchronicznego budowy okapturzonej, z silną wentylacją osiową, konstrukcji normalnej z pakietem okrągłych blach, opartym o wewnętrzne żebra kadłuba. Silny prąd powietrza, którego prędkość została określona z prędkości obwodowej wentylatora na 5,5 m/s, omywa z tą samą prędkością czoła uzwojenia i powierzchnię blach, ponieważ sumaryczny przekrój kanałów wentylacyjnych jest stały wzdłuż maszyny. Moc silnika 11 kW przy 1450 obr./min. Inne dane potrzebne do obliczenia przytoczymy kolejno.

W y m i a r y zewnętrzne pakietu blach: średnica zewnętrzna D_z = 24,4 cm, długość l_{Fe} = 16 cm, średnica wewnętrzna jarzma D_{wj} = 20 cm. Straty w żelazie p_{Fe} = 305 W. Liczba żłobków statora: Z_1 = 36.

Wymiary uzwojenia: długość połowy zwoju l_m = 37,8 cm, obwód przekroju jednej cewki uzwojenia (dwuwarstwowego) u_c = 4 cm, obwód przekroju żłobka, bez części zasłoniętej klinem $u_{żł}$ = 5,2 cm.

Uzwojenie jest wykonane z dwu drutów miedzianych o średnicy 1,2 mm, o łącznym przekroju S = 2,25 mm²; liczba zwojów w cewce w_c = 15

S t r a t y w m i e d z i stojana p_{cu1} = 680 W, straty w miedzi stojana na 1 cm długości uzwojenia maszyny p = 17,9 W/cm.

Straty w miedzi odcinków uzwojenia maszyny:

$$p_1 = pl_1 = 17{,}9 \cdot 5{,}7 = 102 \text{ W}$$
$$p_2 = p'_2 = 17{,}9 \cdot 5{,}2 = 93 \text{ W}$$
$$p_3 = p'_3 = 17{,}9 \cdot 8{,}0 = 143 \text{ W}$$

Opory cieplne miedzi wzdłuż wszystkich przewodów maszyny: przewodność cieplna właściwa miedzi 380 W/m⁰C, opór cieplny właściwy miedzi wynosi

$$\frac{1}{380}\ \frac{m^2\cdot {}^0C}{W\cdot m}=\frac{10^4}{380}\ \frac{mm^2\cdot {}^0C}{cm\cdot W}.$$ Stąd otrzymujemy

$$r_{21}=\frac{10^4}{380}\ \frac{mm^2\cdot {}^0C}{cm\cdot W}\cdot\frac{l_{21}\ cm}{S\ mm^2\cdot 2w_c\cdot \dot{Z}_1}=$$

$$=\frac{10^4\cdot 5{,}45}{380\cdot 2{,}25\cdot 2\cdot 15\cdot 36}=0{,}0585\,{}^0C/W$$

$$r_{32}=\frac{10^4\cdot l_{32}}{380\cdot S\cdot 2\cdot w_c\cdot \dot{Z}_1}=\frac{10^4\cdot 6{,}6}{380\cdot 2{,}25\cdot 2\cdot 15\cdot 36}=0{,}071\,{}^0C/W$$

Opory cieplne izolacji i dróg oddawania ciepła od powierzchni do powietrza. Przyjmujemy, że czoła są okręcone taśmą lakierowaną na zakładkę łącznej grubości $\delta_1=0{,}032$ cm i że odcinek „przepleciony" czoła cewki ma powierzchnię chłodzenia równą połowie obwodu cewki przez długość (druga połowa jest zasłonięta), przez co opór cieplny izolacji oraz oddawania ciepła od powierzchni wzrasta dwukrotnie:

$$r_1=2\,(r_{1iz}+r_{1pow}),$$

gdzie r_{1iz} jest opór cieplny przejścia przez całą izolację odcinka, r_{1pow} jest opór cieplny drogi oddawania ciepła przez całą powierzchnię odcinka do powietrza.

r_{1iz} obliczamy na przykład według książki R. Richtera, t. I, lub M. Liwschitza, tom III, rozdz. IV 2.

Przewodność cieplna bawełny nasyconej

$$k_s=0{,}25\ \frac{W}{m\cdot {}^0C}=\frac{10^{-2}}{4}\ \frac{W}{cm\cdot {}^0C}$$

$$r_{1iz}=\frac{1}{k_s}\ \frac{cm\cdot {}^0C}{W}\cdot\frac{\delta_1\ cm}{u_c\,cm\cdot 2\cdot \dot{Z}_1\,l_1\ cm}=\frac{4\cdot 10^2\cdot 0{,}032}{4\cdot 2\cdot 36\cdot 5{,}7}=$$

$$=0{,}0078\,{}^0C/W$$

Przewodność oddawania ciepła od powierzchni czół do powietrza h_s, dopóki nie posiadamy danych z badań silników własnej serii, możemy brać z książki M. Liwschitza (tom III, rozdział IV, 5a, fig. 133); dla prędkości powietrza $V_p=5{,}5$ m/s,

$$h_s=50\ W/m^2\cdot {}^0C=5\cdot 10^{-3}\ \frac{W}{cm^2\cdot {}^0C}$$

Opór cieplny przy oddawaniu ciepła od powierzchni odcinka 1:

$$r_{1pow}=\frac{1}{h_s\cdot u_c\cdot 2\cdot \dot{Z}_1\cdot l_1}=\frac{10^3}{5\cdot 4\cdot 2\cdot 36\cdot 5{,}7}=0{,}122\,{}^0C/W$$

$$r_1=2\,(r_{1iz}+r_{1pow})=2(0{,}0078+0{,}122)=0{,}26\,{}^0C/W$$

W podobny sposób obliczamy r_2 w założeniu, że cała powierzchnia tej części cewek jest omywana powietrzem:

$$r_2=r_{2iz}+r_{2pow}=\frac{r_1 l_1}{2\cdot l_2}=\frac{0{,}26\cdot 5{,}7}{2\cdot 5{,}2}=0{,}142\,{}^0C/W$$

Opór cieplny r_3 przejścia strat przez izolację żłobka i od powierzchni żelaza do powietrza ustalamy w następujący sposób.

Przypuśćmy, że przewodność cieplna właściwa używanej przez nas ceratki i preszpanu nasyconego jest

$$k_{s3}=0{,}23\ \frac{W}{m\cdot {}^0C}=0{,}23\cdot 10^{-2}\ \frac{W}{cm\cdot {}^0C}$$

Łączna grubość izolacji żłobkowej wraz z luzem wypełnionym lakierem impregnacyjnym $\delta_3=0{,}06$ cm. Stąd

$$r_{3iz}=\frac{\delta_3}{k_{s3}\cdot u_{żł}\cdot \dot{Z}_1\cdot l_3}=\frac{10^2\cdot 0{,}06}{0{,}23\cdot 5{,}2\cdot 36\cdot 8}=0{,}0175\,{}^0C/W$$

Przewodność właściwa odbierania ciepła od osiowo chłodzonych powierzchni cylindrycznych żelaza według Liwschitza, t. III, fig. 140, dla prędkości powietrza 5,5 m/s, pomiędzy krzywymi dla 10 i 20 cm długości:

$$h_{s3}=30\ \frac{W}{m^2\cdot {}^0C}=30\cdot 10^{-4}\ \frac{W}{cm^2\cdot {}^0C}$$

Powierzchnia żelaza (połowy) $F_{Fe}=770\ cm^2$ (z rysunku maszyny)

$$r_{3pow}=\frac{1}{h_{s3}\cdot F_{Fe}}=\frac{10^4}{30\cdot 770}=0{,}43\,{}^0C/W$$

Stosunki oporów cieplnych izolacji i odbierania od powierzchni są bardzo ciekawe. Widać, jak mały opór stawia ciepłu izolacja żłobkowa w porównaniu z oporem przejścia z powierzchni żelaza do powietrza. Widać z tego, jak ważne jest dobre chłodzenie żelaza.

Obliczając r_3 opuściliśmy opór przejścia ciepła przez żelazo wzdłuż płaszczyzn blach, ponieważ jest on znikomo mały.

Rozwiązując wyżej podane równania i wprowadzając oznaczenia od b do h, otrzymamy następujący schemat obliczenia grzania się maszyny:

$$r_1=0{,}260\,{}^0C/W$$
$$r_{21}=0{,}058\ \text{,,}$$
$$r_2=0{,}142\ \text{,,}$$
$$b=0{,}460\,{}^0C/W=r_1+r_{21}+r_2$$
$$r_{3pow}=0{,}43\,{}^0C/W$$
$$r_{3iz}=0{,}017\ \text{,,}$$
$$r_3=0{,}447\,{}^0C/W=r_{3pow}+r_{3iz}$$
$$r_{32}=0{,}071\ \text{,,}$$
$$c=0{,}518\,{}^0C/W=r_3+r_{32}$$
$$r_2=0{,}142\ \text{,,}$$
$$d=0{,}66\,{}^0C/W=c+r_2=r_3+r_{32}+r_2$$
$$e=p_1 r_1=102\ W\cdot 0{,}26\ \frac{{}^0C}{W}=26{,}5\,{}^0C$$
$$f=p_2 r_2=93\cdot 0{,}142=13{,}2\,{}^0C$$
$$g=p_3 r_3=143\cdot 0{,}447=64{,}0\,{}^0C$$
$$h=\frac{p_{Fe}}{2}\,r_{3pow}=\frac{305}{2}\cdot 0{,}43=65{,}5\,{}^0C$$

Wartości e, f oraz $g+h=129{,}5\,{}^0C$ są to fikcyjne przyrosty temperatury odcinków uzwojenia, gdyby nie było prądu ciepła wzdłuż przewodników.

Obliczamy wielkość

$$i_{21}=\frac{(g+h\quad f\ r_2+(f-e)\,d}{bd-r_2^2}=\frac{116{,}3\cdot 0{,}142-13{,}3\cdot 0{,}66}{0{,}282}=27{,}3\ W$$

Jest to prąd ciepła płynący od odcinka 2 do odcinka 1 czół.

Dalej znajdujemy:

$$\vartheta_1=(i_{21}+p_1)\,r_1=(27{,}3+102)\,0{,}26=33{,}5\,{}^0C$$

$$\vartheta_2=\vartheta_1+i_{21}\cdot r_{21}=33{,}5+27{,}3\cdot 0{,}058=35{,}1\,{}^0C$$

$$\vartheta_3=g+h+\frac{(\vartheta_2-g-h)\,r_3}{c}=$$

$$=65{,}5+64+\frac{(35{,}1-64-65{,}5)\,0{,}447}{0{,}518}=48\,{}^0C$$

Są to rzeczywiste przyrosty temperatury poszczególnych odcinków uzwojenia, bez uwzględnienia przyrostu temperatury powietrza chłodzącego.

Sprawdzenie:

$$i_{32}=\frac{\vartheta_3-\vartheta_2}{r_{32}}=\frac{48-35{,}1}{0{,}071}=182\ W$$

$$\vartheta_3=(p_3-i_{32})\,r_{3iz}+\left(p_3-i_{32}+\frac{p_{Fe}}{2}\right)r_{3pow}=(p_3-i_{32})\,r_3+$$

$$+h=(143-182)\cdot 0{,}447+65{,}5=48\,{}^0C$$

Otrzymaliśmy więc inną drogą tę samą temperaturę.

Z otrzymanych wyników mamy kilka cennych dla konstruktora wskazówek.

W jakim stopniu prąd ciepła do czół wyrównuje temperatury, widać z porównania przyrostów temperatury, które byłyby, gdyby pomiędzy odcinkami uzwojenia nie było komunikacji cieplnej (rząd górny) i rzeczywistych przyrostów temperatury odcinków (rząd dolny):

$e=26{,}5\,{}^0C$; $f=13{,}2\,{}^0C$; $g+h=129{,}5\,{}^0C$;

$\vartheta_1=33{,}5\,{}^0C$; $\vartheta_2=35{,}1\,{}^0C$; $\vartheta_3=48\,{}^0C$

Widzimy stąd, jak wielki udział biorą czoła w chłodzeniu części uzwojenia leżącej w żłobku, a więc jak ważny jest stosunek długości czół do długości żelaza.

Opory cieplne izolacji są bardzo małe w porównaniu z oporami oddawania ciepła od powierzchni do powietrza, z czego można wysnuć wniosek, że nowe izolacje z lepszą przewodnością cieplną, jak np. szkło, nie będą miały pod względem oddawania ciepła większego znaczenia i że „wąskim gardłem" jest tutaj oddawanie ciepła od powierzchni, a szczególnie od powierzchni blach.

W obliczonym przykładzie ciepło nie przechodzi od miedzi do żelaza, lecz odwrotnie od żelaza do miedzi, gdyż i_{32} jest większe od p_3. Stąd wniosek, że żelazo jest

gorętsze od miedzi, a zmniejszenie przewodności cieplnej izolacji żłobkowej nie poprawiłoby chłodzenia.

Średni przyrost temperatury uzwojenia ponad temperaturę powietrza chłodzącego:

$$\vartheta'_{śr} = \frac{\vartheta_1 l_1 + \vartheta_2 l_2 + \vartheta_3 l_3}{l_1 + l_2 + l_3} = \frac{35{,}5 \cdot 5{,}7 + 35{,}1 \cdot 5{,}2 + 48{,}0 \cdot 8{,}0}{5{,}7 + 5{,}2 + 8{,}0} = 40\,^0\mathrm{C}$$

Do tego należy dodać średni przyrost temperatury powietrza chłodzącego, który łatwo możemy obliczyć mając sumę strat silnika $\Sigma p = 1{,}64$ kW i przekrój kanałów wentylacyjnych $F_p = 0{,}0132$ m².

Ilość powietrza na sekundę:

$$Q_p = V_p F_p = 5{,}5\ \mathrm{m/s} \cdot 0{,}0132\ \mathrm{m}^2 = 0{,}073\ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

ciepło właściwe powietrza $c = 1{,}2\ \mathrm{kWs/m^3 \cdot {}^0C}$

Największy przyrost temperatury powietrza chłodzącego:

$$\vartheta_{pmax} = \frac{\Sigma p}{c\,Q_p} = \frac{1{,}64}{1{,}2 \cdot 0{,}073} = 20\,^0\mathrm{C}$$

Średni przyrost temperatury uzwojeń:

$$\vartheta_{śr} = \vartheta'_{śr} + \frac{\vartheta_{pmax}}{2} = 40 + 10 = 50\,^0\mathrm{C}$$

4. **Obliczanie przy pomocy przyrządu elektrycznego.**

Opierając się na analogii pomiędzy rozpływem prądu ciepła i prądu elektrycznego, można by było zamiast operować rachunkiem odczytywać wyniki na odpowiednio skonstruowanym aparacie elektrycznym, w którym rolę oporów cieplnych w °C/W grałyby opory elektryczne w omach, rolę prądu ciepła w watach — prąd elektryczny w amperach, a rolę przyrostu temperatury w °C — napięcie w woltach. Przeliczenie skal jest bardzo proste: jeśli 1°C/W oporu cieplnego = a omów oporu elektrycznego, a 1 wat prądu ciepła = b amp. prądu elektrycznego, to 1°C przyrostu temperatury = ab woltów.

Aparat taki dałby duże korzyści szczególnie przy obliczaniu maszyn, w których nie wystarcza dzielenie ½ uzwojenia na trzy odcinki i traktowanie połowy żelaza jako jednego elementu ze skupionymi w środku stratami. Obliczanie bowiem wyżej podaną metodą przy więcej niż 5 równaniach i tyluż niewiadomych byłoby uciążliwe.

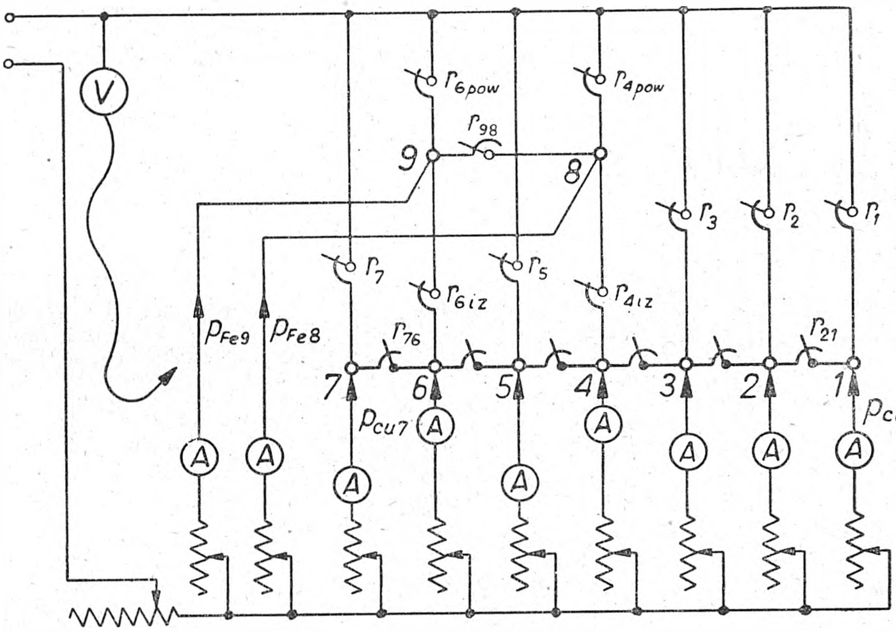
Zasadnicza część takiego aparatu składa się z oporników, amperomierzów i woltomierza. Są one połączone tak, aby odtwarzały układ cieplny maszyny obliczanej, z tym uproszczeniem, że części, w których wytwarzane jest lub przez które przechodzi ciepło, podzielone są na odcinki, a ciepło w nich wytwarzane skoncentrowane jest w środkach odcinków. Uproszczenie to powoduje pewien błąd, tym mniejszy, im większa jest liczba elementów, z których składa się aparat. W razie symetrii maszyny obliczanej, wystarczy odtworzyć tylko jedną jej część.

Punktom 1 do 7 na schemacie (rys. 2) odpowiadają środki odcinków uzwojenia i w każdym z nich skupione są straty w miedzi tego odcinka, a więc w tych miejscach prąd cieplny dochodzi do układu cieplnego maszyny z zewnątrz, bo z prądu elektrycznego, który, jakkolwiek płynie w tym samym punkcie w przestrzeni, jest jednak dla układu cieplnego czymś zewnętrznym. Dlatego do tych miejsc doprowadzamy prądy elektryczne równe w obranej skali stratom w miedzi odcinka uzwojenia. Służą do tego amperomierze i umieszczone pod nimi na schemacie oporniki.

Ale miejsca 1 do 7 są ze sobą połączone przez opory cieplne miedzi odcinków r_{21}, r_{32} itd. w °C/W, obliczane jak poprzednio; nastawiamy je w aparacie na wartości w omach: r_{21} w $\Omega = a\,r_{21}$ w °C/W.

Oporniki r_{4iz} i r_{6iz} nad punktami 4 i 6 nastawione są w tejże skali na opór przejścia ciepła z miedzi do pakietu żelaza, opory zaś r_5 i r_7 na opory przejścia ciepła od miedzi do powietrza w kanale wentylacyjnym promieniowym. Oporniki r_1, r_2 i r_3 nastawione są na opór przejścia ciepła z odcinków czół cewek do powietrza chłodzącego.

W punktach 8 i 9 dopływają prądy elektryczne równe stratom w poszczególnych pakietach żelaza, regulowane opornikami na dole z lewej strony schematu. Oporniki r_{4pow} i r_{6pow} nastawione są na opór przejścia ciepła od pakietu do powietrza. Każdy z tych ostatnich oporników



Rys. 2. Schemat przyrządu elektrycznego do obliczania nagrzewania się maszyn elektrycznych

lepiej będzie rozbić na dwa połączone równolegle. Jeden z nich byłby nastawiany na opór przejścia ciepła od powierzchni bocznych pakietu do powietrza, a drugi — od powierzchni cylindrycznych. Nie będzie wtedy potrzeby obliczania oporu zastępczego równolegle połączonych oporów cieplnych.

Po ustawieniu oporników na odpowiednie opory i naregulowaniu prądów otrzymamy w aparacie taki rozpływ prądów i układ spadków napięcia, jaki jest rozpływ ciepła i układ spadków temperatur w obliczanej maszynie. Woltomierz więc przyłączony swym wolnym końcem do któregokolwiek punktu 1 do 9 aparatu pokaże w odpowiedniej skali $\vartheta\ {}^0\mathrm{C} = \frac{U \text{ woltów}}{a\,b}$ przyrost temperatury odpowiedniego miejsca maszyny.

Jeśli obliczamy maszynę z kanałami promieniowymi, to opornik r_{98}, włączony między punkty 9 i 8 jest ustawiony na opór równy nieskończoności, gdyż pomiędzy pakietami niema bezpośredniej komunikacji ciepła. Jeśli natomiast maszyna ma być bez kanałów promieniowych, to opornik ten ustawiamy na opór przejścia ciepła pomiędzy środkami części fikcyjnie podzielonego pakietu blach, natomiast oporniki r_5 i r_7 ustawiamy na $r = \infty$

Przewodność cieplna właściwa pakietu w poprzek blach izolowanych lakierem wynosi około 10^{-3} W/cm. °C.

5. Dodatkowe urządzenia w aparacie obliczeniowym.

Straty w miedzi są zależne od nagrzania danego miejsca. W najprostszym aparacie możemy straty te określać przy średniej temperaturze, co powoduje pewną niedokładność, lub przeliczać na temperaturę już odczytaną, co byłoby niewygodne. Lepiej już byłoby bocznikować amperomierze strat w miedzi opornikami, w których płynąłby prąd odpowiadający dodatkowi strat na skutek nagrzania się miedzi. Byłyby one wyskalowane w stopniach C.

Rozpływ ciepła jest zależny również od nagrzania się powietrza chłodzącego, szczególnie w maszynach z chłodzeniem osiowym.

Aparat może to również odtwarzać w sposób elektryczny, jeżeli wykorzystamy tę okoliczność, że prąd w przewodzie, który narysowany jest na schemacie poziomo na samej górze, jest równy w odpowiedniej skali w każdym miejscu sumie strat, zabranych przez powietrze z części maszyny na prawo od tego miejsca, a więc i przyrostowi temperatury powietrza w odpowiedniej skali, zależnej od ilości powietrza na sekundę. Jeśliby prądniczkę (lub prądniczki) wzbudzić prądem tego przewodu, to na jej zaciskach powstałoby napięcie proporcjonalne do nagrzania powietrza. Skalę tego napięcia można łatwo doprowadzić do poprzednio obranej skali napięcia przez bocznikowanie uzwojenia wzbudzającego lub przez odpowiednie obroty prądniczki. Wirnik prądniczki należy włączyć w (uprzednio przecięty) przewód, lub grupę przewodów, przez które płynie prąd odpowiadający przejściu sumy strat danej części maszyny z powierzchni chłodzonych do powietrza. Na schemacie odpowiednim miejscem są druty dochądzące pionowo do górnego poziomego przewodu. Napięcie to musi być włączone „pod prąd". Powoduje ono konieczność zwiększenia napięć w odpowiednich częściach aparatu, tak aby prądy w amperomierzach nadal odpowiadały stratom. Podobnie w gotowej maszynie wzrost temperatury powietrza chłodzącego powoduje podwyższenie nagrzania się odpowiednich części maszyny, tak aby istniała równowaga pomiędzy wytwarzaniem a wydzieleniem ciepła.

Do obliczania maszyn z chłodzeniem promieniowym urządzenie takie nie jest potrzebne, wystarczy jedna prądniczka ze wzbudzeniem nie związanym ze schematem aparatu, dająca napięcie nastawiane na przyrost temperatury powietrza przy przechodzeniu przez wirnik.

Aby przystosować aparat do obliczania maszyn o jednostronnym chłodzeniu z uwzględnieniem różnic temperatury powietrza chłodzącego z obu stron maszyny, należy z lewej strony schematu dodać również elementy odpowiadające czołom cewek, takie jakie są narysowane po prawej stronie.

Każdy z elementów aparatu może być, oczywiście, wyłączony, jeśli jego odpowiednik w obliczanej maszynie nie występuje lub ze względu na symetrię maszyny nie potrzebuje być brany pod uwagę.

6. Dokładność obliczeń przy pomocy aparatu.

Dokładność wyżej opisanej metody w stosunku do najdokładniejszej z metod analitycznych przedstawia się jak następuje. Należy metodę tę obciążyć: a) błędami przyrządów pomiarowych, stosunkowo małymi, szczególnie przy prądzie stałym (ułamki procentu); b) niedokładnością oporników, którą zmniejszamy przez wykonanie ich z konstantanu i dokładnie wyskalowane lub ustawianie przy pomocy mostka (chodzi tylko o opory odpowiadające oporom cieplnym); c) błędem na skutek skupienia strat w środkach odcinków; błąd ten jest tym mniejszy, im większa jest liczba elementów, z których składa się aparat.

Na dobro wyżej opisanej metody w stosunku do analitycznej należy zapisać następujące cechy:

a) Nie potrzebuje ona robić koniecznego dla analitycznej metody założenia, że opór cieplny blach wzdłuż arkuszy równa się zeru, albowiem można go uwzględnić przez powiększenie oporów r_{4pow} i r_{6pow} (przez to unika się błędu, popełnionego świadomie w metodzie analitycznej celem jej uproszczenia).

b) Metoda wyżej opisana odtwarza osobno oddawanie ciepła od uzwojenia do żelaza i osobno od uzwojenia do powietrza w kanale promieniowym (przez opory r_5 i r_7) analogicznie do tego, jak jest w rzeczywistości, w metodzie zaś analitycznej zmuszeni jesteśmy dla uproszczenia i tak już zawiłego rachunku połączyć w jedną całość oddawanie ciepła przez gilzę do pakietu i przez gilzę do kanału promieniowego i brać średnią wartość, co jest związane z błędem obliczenia. Liwschitz pisze w tomie III, rozdział IV, 7 a, pomiędzy równaniami 218 i 219: „Odbieranie ciepła od cewki do kanału wentylacyjnego odbywa się inaczej niż do pakietu blach. Należałoby więc dla obydwu części ułożyć oddzielne równania różniczkowe. Jednak dla uproszczenia wprowadzamy średnią wartość odprowadzonej ilości ciepła od długości pakietu blach i kanału wentylacyjnego".

Można się spodziewać, że dokładność obydwu metod będzie tego samego rzędu.

Porównanie praktyczności wypada wyraźnie na korzyść wyżej opisanej metody.

1) Jest ona wielokrotnie szybsza. Cały pomiar, tj. nastawienie oporników i prądów oraz zmierzenie napięć, nie powinien trwać więcej nad kilka minut, gdy obliczanie analityczne trwa godziny.

2) Przy obliczaniu różnych alternatyw trzeba ze zmianą jednego paramentru na nowo przeprowadzać cały rachunek, przy posiłkowaniu, się zaś aparatem wystarczy nastawić tylko zmienione wielkości, pozostawiając inne tak jak były. Jeśli np. chcemy się dowiedzieć, jaki wpływ na przyrost temperatury miałoby skrócenie czół cewek, tzn. czy ten przyrost będzie jeszcze dopuszczalny, wystarczy wyłączyć jeden (z prawej strony schematu), element aparatu i podregulować prądy do poprzednich wartości. Wtedy bez zmiany nastawienia innych oporników odczytamy na woltomierzu nowe przyrosty temperatury. Inny przykład: wpływ zmiany strat w żelazie pokaże nam woltomierz po zmianie jedynie prądów dopływających do punktów 8 i 9. Przykładów takich można by jeszcze podać dużo. W rezultacie konstruktor może na aparacie tym pracować w sposób prawie ciągły, wynajdując najkorzystniejsze ze względu na temperaturę wartości parametrów.

3) Praca na takim aparacie nie jest tak męcząca jak obliczeniowa i nie wymaga tak wysoko wykwalifikowanego fachowca.

Z. FIGURZYŃRKI

Postęp w konstrukcji prostowników dużej mocy w Europie i Stanach Zjednoczonych

Treść. Krótki zarys rozwoju historycznego konstrukcji prostowników dużej mocy oraz zmiany w zakresie ich stosowania, spowodowane rozwojem przemysłu elektrochemicznego. Opis konstrukcji pojedyńczo-anodowych typu „egzytron" i „ignitron" w wykonaniu amerykańskim oraz porównanie ich wad i zalet. Opis nowych konstrukcji europejskich chłodzonych powietrzem wyrobu ASEA, BBC, Oerlikon, CGE oraz CKD z podkreśleniem ich zasadniczych wad i zalet.

Współczesny pogląd na zagadnienie mocy zaworu prostownikowego. Określenie drogą prób mocy granicznej trwałej i przeciążalności prostownika. Zagadnienie zapłonu zwrotnego i stosowane środki zaradcze oraz ich skuteczność. Wpływ siatek sterowniczych i opóźnienia zapłonu. Wyłączniki anodowe jako zabezpieczenie prostownika oraz zagadnienia specjalne, występujące przy opracowywaniu urządzeń łączeniowych dla instalacji prostownikowych bardzo dużej mocy.

Прогресс в постройке выпрямителей большой мощности в Европе и Соединенных Штатах. Краткий очерк развития конструкции выпрямителей большой мощности и изменение области их применения в связи с развитием электрохимической промышленности. Сравнительный обзор американских типов с одиночными анодами („экзитрон" и „игнитрон"). Европейские типы с воздушным охлаждением (ASEA, BBC, Oerlikon, CGE, ČKD). Современный взгляд на мощность выпрямительного вентиля. Определение опытным путем длительной предельной мощности и перегружаемости выпрямителя. Вопрос возвратного зажигания и соответственные мероприятия. Влияние контрольных сеток и запаздывающего зажигания. Анодные выключатели для защиты выпрямителей. Выключательные устройства в установках очень большой мощности.

Progress in the construction of rectifiers in Europe and the USA. Historical background of the development of mercury arc power rectifiers and changes in the scope of their application as a result of the development of electrochemical industry. Description of the single anode type rectifiers of American design, exitron and ignitron types. Comparison of their advantages and disadvantages. Description of the new air cooled rectifiers of European design (ASEA, BBC, Oerlikon, GEC and CKD), their advantages and disadvantages. Recent views on the question of the rating of rectifying elements and the procedure used in testing of mercury arc rectifiers in order to determine the continuous load limit and overload ratings of rectifiers. Arc back problem and remedies adopted. Effect of the grid control and firing retardation. High speed anode circuit breakers, as the means of arc back protection. Switching problems in large rectifier installations in electrochemical plants.

Progrès réalisés dans la construction de redresseurs à grande puissance en Europe et aux États-Unis. Bref historique du développement de la construction de redresseurs à grande puissance. Changements dans le domaine de leurs applications dûs au développement de l'industrie électrochimique. Description de la construction de redresseurs mono-anodiques du type „exitron" et „ignitron" produits en Amérique et comparaison de leurs défauts et qualités. Description des nouvelles constructions européennes à refroidissement par air, des firmes ASEA, BBC, Oerlikon, CGE et CKD, avec indication de leurs principaux défauts et qualités. Les conceptions modernes concernant la question de la puissance de la soupape de redresseur. Recherches de la puissance continue limite et des possibilités de surcharge du redresseur. Problème de l'allumage de retour, moyens d'y remédier, leurs efficacités. Influence des grilles de commande et du retard à l'allumage. Des interrupteurs anodiques considérés comme protecteurs du redresseur. Problèmes spéciaux se présentants dans l'étude de l'appareillage de connexion pour installations de redresseurs à très grandes puissances.

1. Zarys historyczny rozwoju.

W celu dokładniejszego zobrazowania postępu w konstrukcji prostowników rtęciowych w ostatnich latach należy pokrótce przypomnieć historię rozwoju zaworów elektrycznych.

Początek badań sięga okresu końcowego zeszłego stulecia, przy czym zasadniczym przyczynkiem do rozwoju teorii były badania fizyka angielskiego Fleminga.

Pierwsze rozwiązanie konstrukcyjne wykonał Cooper Hewitt około 1895 r. i konstrukcje te dały początek budowie prostowników szklanych. Przed pierwszą wojną światową Hewitt stwierdził w drodze doświadczalnej, iż łuk elektryczny, ustalony między dwiema izolowanymi elektrodami w rozrzedzonej atmosferze pary rtęci, jest niewrażliwy na zbliżenie do otaczających łuk ścianek metalowych naczynia prostownikowego. Dało to początek zastąpieniu szkła jako materiału konstrukcyjnego dla naczynia prostownika żelazem, a tym samym początek konstrukcji prostowników żelaznych dużej mocy.

W latach 1910—1914 dwie duże firmy amerykańskie General Electric i Westinghouse budują już prostowniki żelazne w skali przemysłowej. Mniej więcej w tym samym czasie jako pierwsza w Europie rozpoczyna produkcję urządzeń prostownikowych szwajcarska firma Brown Boveri.

Bezpośrednio po zakończeniu pierwszej wojny światowej zapotrzebowanie instalacji prostownikowych wzrosło gwałtownie, zwłaszcza w dziedzinie obsługi transportu elektrycznego. Znakomita większość światowych firm elektrotechnicznych wprowadza produkcję prostowników rtęciowych. Produkują je więc między innymi w Europie A. E. G., Siemens, Bergman, B. B. C., Secheron, ASEA, ČMKD, Comp Gen. de Elektr., BTH, Bruce Peebles, English Electric, państwowy przemysł rosyjski, w USA zaś prócz dwu firm wymienionych wyżej również Allis Chalmers.

Ważnym przyczynkiem w rozwoju konstrukcji prostowników było praktyczne zastosowanie siatki sterowniczej do regulacji pracy anody. Wprawdzie prace teoretyczne w tym względzie były robione jeszcze w okresie pierwszej wojny światowej, rozwiązania konstrukcyjne ukazują się jednak dopiero w okresie 1928—1930 r. Od tego też okresu rozpoczynają się próby, prowadzone głównie przez firmy niemieckie, zastosowania elektrycznych zaworów rtęciowych z siatką sterowniczą do zamiany prądu stałego na zmienny oraz do zmiany częstotliwości prądu zmiennego.

Do roku 1930 zastosowanie prostowników dużej mocy ograniczało się głównie do trakcji elektrycznej. W urządzeniach trakcyjnych charakteryzujących się dużymi wahaniami obciążenia, zalety dużej sprawności i przeciążalności prostownika uwypuklały się najwyraźniej. Ogólna jednak moc zainstalowana była stosunkowo niewielka, bo wynosiła około 1271 MW, w czym 75% stanowiły instalacje trakcyjne tramwajów, kolei podmiejskich i kolei głównych. Przemysł elektrochemiczny w tym okresie posiadał zaledwie 3,5% ogólnej mocy zainstalowanej w prostownikach. Urządzenia prostownikowe stanowiły w większości drobne instalacje i ich moc w odniesieniu do ogólnej gospodarki elektrycznej miała stosunkowo niewielkie znaczenie. Sytuacja ta zaczyna zmieniać się bardzo gwałtownie na korzyść prostowników w okresie poprzedzającym drugą wojnę światową oraz w pierwszych latach jej trwania.

Ogromny rozwój przemysłu elektrochemicznego przerzucił środek ciężkości w dziedzinie zastosowania prostowników z trakcji elektrycznej na przemysł elektrochemiczny.

Nie jesteśmy w stanie podać dokładnych cyfr mocy obecnie zainstalowanej w prostownikach na całym świecie, gdyż wielkość ta ulegała szybkim zmianom w okresie wojennym, z jednej strony rosnąc skutkiem rozbudowy przemysłu wojennego, z drugiej zaś strony zmniejszając się skutkiem zniszczeń wojennych. Doskonałą jednak ilustracją rodzaju i rozmiarów zmian w zainstalowanej mocy prostownikowej są cyfry dotyczące w tym względzie Stanów Zjednoczonych. Dane te zestawione z danymi z 1930 r. dają wyraźny obraz sytuacji, gdyż USA posiada obecnie przemysł elektrochemiczny pokrywający około 70% produkcji światowej i odpowiednio duże moce zainstalowane w prostownikach.

Przemysł elektrochemiczny jako odbiorca energii elektrycznej składa się zasadniczo z pięciu podstawowych gałęzi produkcji, które dla warunków USA pochłaniają około 80% całkowitej energii zużywanej przez ten przemysł. Do tych pięciu gałęzi produkcji należy produkcja aluminium, magnezu, chloru, miedzi oraz cynku. Produkcja wodoru, manganu, chloranu potasu, chloranu sodu itd. stanowi w warunkach USA łącznie około 20% spożycia energii do celów elektrochemicznych.

Moc zainstalowana w urządzeniach prostownikowych przemysłu elektrochemicznego USA wynosiła w 1940 r. 2 500 MW, w roku zaś 1943 — 3 500 MW, co w odniesieniu do ogólnej mocy elektrowni, wynoszącej odpowiednio 41 500 MW i 47 900 MW daje 6% względnie 8% mocy elektrowni. Moc prostowników zainstalowanych w urządzeniach trakcyjnych stanowi w tym wypadku około 20% całości mocy prostowników.

Drugim elementem podkreślającym ważność zagadnień prostownikowych w dzisiejszej gospodarce elektrycznej jest ilość energii zużywanej, a raczej przerabianej przez urządzenia prostownikowe.

Wobec tego, iż spółczynnik obciążenia urządzeń prostownikowych w instalacjach elektrochemicznych jest bliski jedności, ilość zużytej energii w stosunku do całości energii wytwarzanej w elektrowniach podkreśla znaczenie tej gałęzi energetyki jeszcze dobitniej. Roczne zużycie energii elektrycznej przez przemysł elektrochemiczny USA wynosiło w 1940 r. 24 mlrd. kWh. Wobec 118,6 mlrd. kWh sprzedanych przez wytwórnie odbiorcom stanowi to ok. 20%. W 1943 r. zużycie to wzrosło do 51 mlrd. kWh, co w zestawieniu z wyprodukowaną energią 185 mlrd. kWh stanowi 28%.

Moce zainstalowane w poszczególnych zakładach elektrochemicznych osiągają bardzo duże wielkości — rzędu setek megawatów. Stwarza to zupełnie nowe zagadnienia w dziedzinie automatyki i zabezpieczeń urządzeń prostownikowych, zagadnienia, które nie występowały poprzednio.

Jednocześnie z olbrzymim rozwojem produkcji urządzeń prostownikowych i rozszerzeniem się dziedziny ich zastosowania w okresie ostatnich dziesięciu lat zaznaczyły się wyraźnie nowe kierunki rozwoju konstrukcyjnego zaworów elektrycznych dużej mocy.

Przedwojenny typ prostownika dużej mocy, w którym kilka lub kilkanaście anod umieszczano w jednym wspólnym zbiorniku próżniowym chłodzonym wodą, jest obecnie typem na tyle przestarzałym, iż większość firm zarówno w USA jak i w Europie nie produkuje tych typów zupełnie. Nowe rozwiązania konstrukcyjne, wprowadzane przez przemysł produkujący prostowniki, poszły zasadniczo w dwu kierunkach. Stany Zjednoczone oraz

Rosja przerzuciły się całkowicie na produkcję prostowników o anodach pojedynczych, pozostałe zaś kraje europejskie produkują prawie wyłącznie konstrukcje o niewielkiej liczbie anod chłodzone powietrzem.

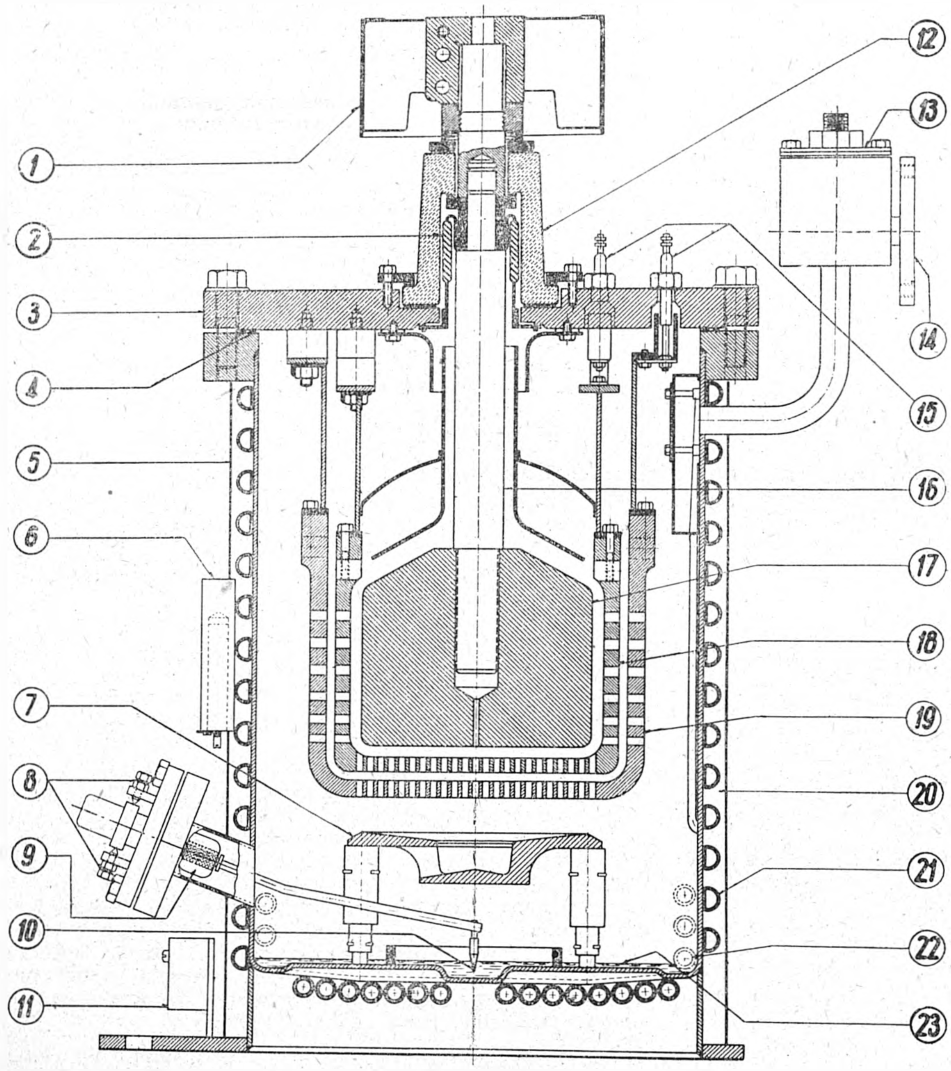
2. Prostowniki pojedyńczo-anodowe.

Prostowniki pojedyńczo-anodowe znajdowały się w latach bezpośrednio przed ostatnią wojną światową w okresie próbnym. W ciągu kilku lat konstrukcja ta nie tylko doprowadzona została do pewnych form ostatecznych, lecz zdołała wyrugować całkowicie wszelkie inne rozwiązania w dwu największych krajach produkcyjnych.

W prostowniku pojedyńczoanodowym każda z anod posiada osobny zbiornik próżniowy, osobną katodę, osobne obwody wzbudzenia, zapłonu i sterowania. Obwód próżniowy (pompowy) oraz chłodzenie są wspólne dla wszystkich zbiorników anodowych jednego zespołu pro-

Drugi typ prostownika pojedyńczoanodowego został opracowany o kilka lat wcześniej przez współpracujące firmy Westinghouse i General Electric. Nosi on nazwę „ignitronu" i oparty jest na zasadzie zapłonu zupełnie odmiennej od powszechnie stosowanej. Plama katodowa nie jest utrzymywana w ignitronie w sposób ciągły za pomocą osobnego wzbudzenia, lecz tworzy się ją synchronicznie z częstotliwością zasilania w odpowiednim momencie przewidzianym dla pracy poszczególnych anod. Od chwili wypuszczenia przez fabryki pierwowzorów ignitron przeszedł szereg przeobrażeń zwłaszcza w zakresie sposobu wywoływania zapłonu poszczególnych anod, zasada działania jednak pozostała ta sama.

Na rys. 1 przedstawiony jest typowy przekrój jednego zbiornika anodowego ignitronu w wykonaniu firmy Westinghouse z okresu 1946 r. Zbiornik z walcowanej i spawanej blachy stalowej posiada na dnie wgłębienie, w którym znajduje się płynna katoda rtęciowa. Katoda



Rys. 1. Przekrój zaworu pojedyńczoanodowego typu ignitron (wykonanie firmy Westinghouse)

1 — Chłodnica anody
2 — Uszczelnienie przepustu anody
3 — Płyta anodowa
5 — Osłona zewnętrzna zbiornika
4 — Uszczelnienie płyty anodowej
6 — Termoelement
7 — Osłona katody
8 — Regulacja położenia elektrody zapalającej
9 — Anoda wzbudzająca
10 — Elektroda zapalająca (ignitron)
11 — Przyłącze katody
12 — Izolator anody
13 — Zawór próżniowy
14 — Kryza łącząca obwód próżniowy
15 — Przepusty siatek sterowniczych
16 — Trzon anody
17 — Głowica anody
18—19 — Siatka sterownicza
20 — Zbiornik próżniowy
21 — Wężownica chłodzenia zewnętrznego
22 — Wężownica chłodzenia wewnętrznego
23 — Katoda rtęciowa

stownikowego. Istnieje jednak możność dowolnego wyłączania z obwodu poszczególnych anod drogą zamknięcia zaworów indywidualnych. Katody wszystkich zbiorników anodowych jednego zespołu połączone są elektrycznie ze sobą.

Istnieją zasadniczo dwa typy prostowników pojedyńczoanodowych. Jeden z nich oparty jest na podstawowych założeniach konstrukcyjnych zapłonu i wzbudzenia, stosowanych poprzednio w prostownikach wieloanodowych. Zapłon w tym typie prostownika wykonywany jest tylko przy uruchamianiu prostownika, plama zaś katodowa, stanowiąca źródło elektronów, podtrzymywana jest przez cały okres pracy za pomocą dodatkowego łuku wzbudzającego. Konstrukcja ta opracowana została przez firmę amerykańską Allis Chalmers i nosi nazwę „egzytronu" (exitron). Wprowadzono ją na rynek około 1942 roku.

nie jest odizolowana od ścian zbiornika, gdyż okres pracy jej jest stosunkowo krótki i nie ma obaw wędrówki plamy katodowej. Anoda wyposażona w grafitową głowicę umieszczona jest stosunkowo blisko katody i osłonięta podwójną siatką sterowniczą, a prócz tego posiada jest osłonięcie głowicy anody od bezpośredniego uderzania strumienia pary rtęci, unoszącego się z katody, oraz osłonę grafitową prowadzącą łuk. Celem tej ostatniej osłonięcie płynnej katody przed promieniowaniem cieplnym anody. Z boku zbiornika znajduje się dodatkowe odgałęzienie rurowe mieszczące anodę zapalającą i anodę wzbudzającą. Anoda zapalająca wykonana jest w postaci ostro zakończonego pręcika z materiału odpornego na wysoką temperaturę oraz posiadającego dużą oporność właściwą. Jako materiał stosuje się zwykle w tym wypadku boranokarbid. Ostrze anody zapalającej jest zanurzone w rtęci na głębokość około 10 mm. Głębokość

ta daje się regulować z zewnątrz przez odpowiednie pochylenie trzpienia, na którym osadzona jest głowica anody.

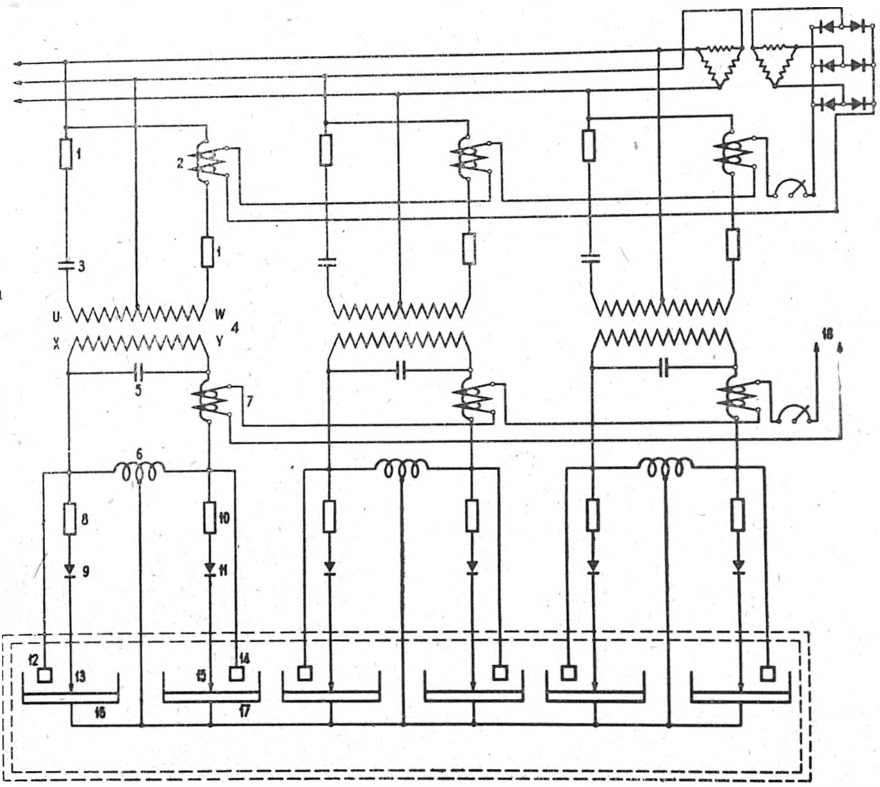
Działanie elektrody zapalającej polega na zjawisku powstawania silnego pola elektrycznego i wzrostu nagłego temperatury w miejscu styku ostrza elektrody o dużym oporze z rtęcią o niskiej oporności właściwej przy przepuszczaniu przez miejsce styku impulsu prądowego.

Na rys. 2 uwidoczniony jest schematycznie układ zapłonu i wzbudzenia sześcioanodowego ignitronu. Dla jasności rysunku pominięte zostały zarówno anody główne, jak i ich zasilanie.

W momencie, kiedy punkt *x* uzwojenia transformatora izolującego, które zasila jedną parę anod zapalających, jest dodatni w stosunku do punktu *y*, płynie prąd o niewielkim natężeniu przez elektrodę zapalającą *I — 1* oraz tworzonego już wyładowania łukowego między anodą i katodą.

Chłodzenie ignitronu przedstawionego na rys. 1 wykonane jest za pomocą wężownicy miedzianej otaczającej zbiornik próżniowy z zewnątrz i od spodu. Woda chłodząca przepływająca przez wężownicę może krążyć w obiegu zamkniętym z oddawaniem ciepła wodzie świeżej lub powietrzu, albo też może być używana świeża woda wodociągowa podobnie zresztą jak w chłodzonych wodą prostownikach wieloanodowych.

Każdy zbiornik anodowy posiada oddzielny zawór główny próżniowy odcinający go od wspólnego przewodu, do którego dołączone są pompy próżniowe. Sześć lub dwanaście takich zbiorników anodowych montuje się na wspólnej podstawie izolowanej; otrzymują one wspólne urządzenie chłodzenia, próżniowe i regulacji zapłonu, tworząc zespół 6- lub 12-anodowy.



Rys. 2. Schemat zapłonu i wzbudzenia 6-fazowego prostownika typu ignitron

1—8—10 — Opornik
2 — Dławik regulowany
3— 5 — Kondensator
4 — Transformator izolujący
6 — Dławik
7 — Impulsator
9—11 — Prostownik blokujący
12—14 — Anoda wzbudzenia
13—15 — Elektroda zapalająca
16—17 — Katoda rtęciowa
18 — Połączenie z układem regulującym
19 — Prostownik zasilający układ sterowniczy

następnie przez cewkę impulsacyjną *SR — 1*. Z chwilą, gdy pod wpływem zwiększającego się prądu nasyci się żelazo cewki, jej oporność pozorna gwałtownie zmniejsza się i wówczas następuje wyładowanie kondensatora *C* przez ostrze elektrody zapalającej. Powstaje plama katodowa, która umożliwia pracę anodzie wzbudzającej *A — 1*, przez co zostaje odciążona elektroda zapalająca. Przepływ prądu przez elektrodę zapalającą sąsiedniego zbiornika *T — 2* jest blokowany w tym okresie prostownikiem suchym *E — 2*. Z chwilą odwrócenia się napięcia transformatora zasilającego cykl zapłonu powtarza się dla zbiornika anodowego *T — 2*. Za pomocą nasycania dodatkowego rdzenia cewki impulsującej prądem z obcego źródła można regulować moment powstawania impulsu prądowego, a tym samym moment rozpoczęcia pracy anody wzbudzającej i anody głównej. Dodatkowa regulacja w tym samym rodzaju może być dokonana przez przesunięcie fazy napięcia w układzie zapalającym względem fazy napięcia zasilającego za pomocą przesuwnika fazowego.

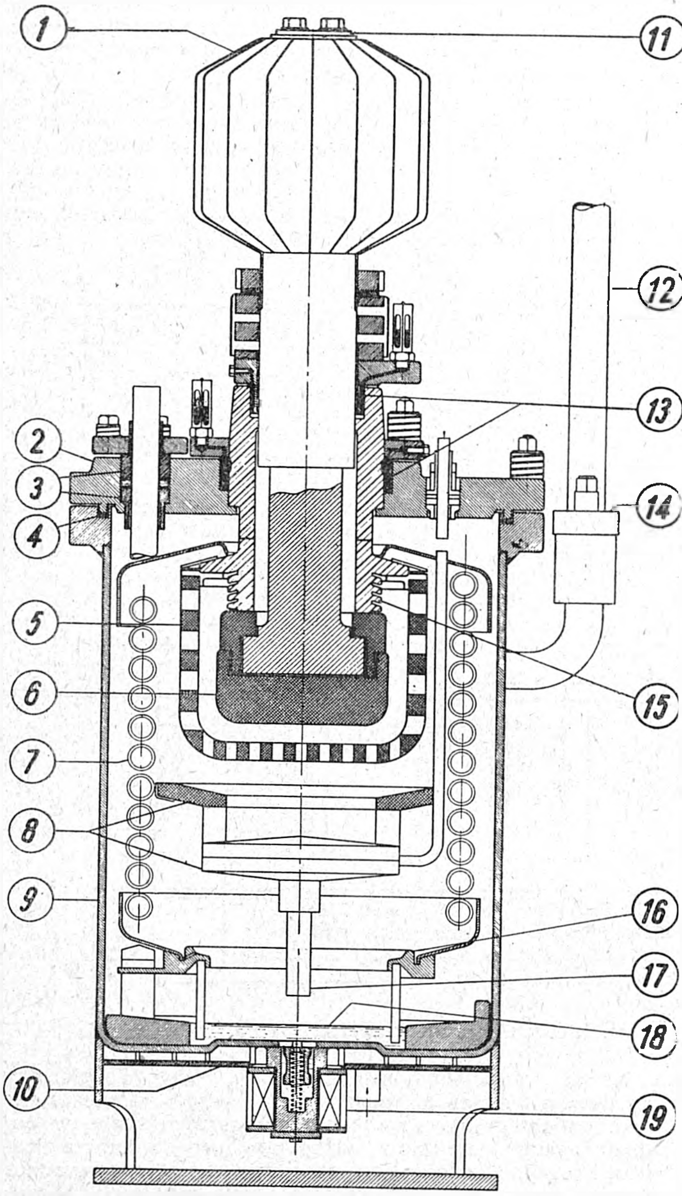
Dwa wyżej podane sposoby umożliwiają w ignitronach regulację pracy anod głównych w sposób analogiczny, jak siatki sterownicze w prostownikach o ciągłym wzbudzeniu. I w tym wypadku również możliwa jest regulacja jedynie momentu początkowego pracy anody, to znaczy opóźnienie jej zapłonu w stopniu większym lub mniejszym. Z chwilą, gdy anoda główna rozpoczęła już pracę, urządzenie regulacyjne ignitronu nie ma już żadnego wpływu na dalszą jej pracę, podobnie jak napięcie doprowadzone do siatki nie jest w stanie przerwać wy-

Na rys. 3 podany jest przekrój typowego zbiornika anodowego zwanego egzytronem. Anoda umieszczona jest, podobnie jak w poprzednio opisanym typie, w pobliżu katody i osłonięta siatką oraz przegrodami z grafitu. Do dolnej osłony łuku umocowana jest anoda wzbudzająca, która jest jednocześnie anodą zapalającą. Katoda rtęciowa w tym typie prostownika również nie jest izolowana od ścianek zbiornika próżniowego i naczynie katodowe ukształtowane jest przez odpowiednie wytłoczenie dna zbiornika. Natomiast cała przestrzeń wewnątrz zbiornika próżniowego otoczona jest spiralnie nawiniętą wężownicą chłodzącą z rury stalowej z wewnętrznym wyłożeniem miedzią. Rura ta jest izolowana od pokrywy zbiornika anodowego za pomocą dwu nieskomplikowanych przepustów. Osłona taka jest najzupełniej wystarczająca, aby zapobiec przedostaniu się wyładowania podczas pracy egzytronu do ścianek zbiornika próżniowego, jakkolwiek w tym typie plama katodowa jest podtrzymywana w sposób ciągły, podobnie jak w dawnych typach prostowników wieloanodowych.

Zapłon prostownika następuje przy zadziałaniu urządzenia wytryskowego, umieszczonego w środku dna zbiornika próżniowego. Schemat zapłonu i wzbudzenia 6-anodowego egzytronu podaje rys. 4. Jak widać, zarówno zapłon jak i wzbudzenie wykonywane jest prądem stałym. Zamknięcie wyłącznika *A* powoduje działanie cewek urządzenia wytryskowego *B* i wytrysk rtęci w kierunku anody wzbudzającej. Z chwilą, gdy powstanie łuk wzbudzenia skutkiem działania urządzenia wytryskowego, działa przekaźnik wzbudzenia *C* i wyłącza kontak-

torami (C — 1) cewki urządzenia zapłonowego. W wypadku, gdy łuk wzbudzenia zgaśnie z jakichkolwiek powodów, zadziałanie przekaźnika C powoduje ponowny zapłon.

Urządzenie chłodzenia i wytwarzanie próżni są analogiczne do opisanych wyżej dla ignitronów i prawie



Rys. 3. Prostownik pojedyńczoanodowy typu egzytron (wykonanie Allis-Chalmers Co)

1 — Chłodnica anody
2 — Płyta anodowa
3 — Izolacja wężownicy chłodzącej
4 — Uszczelnienie płyty anodowej
5 — Siatka sterownicza
6 — Głowica anody
7 — Wężownica chłodzenia wodnego
8 — Osłony łuku
9 — Zbiornik próżniowy
10 — Płaszcz chłodzący katodę
11 — Przyłącze anody
12 — Przyłącze obwodu próżniowego
13 — Uszczelnienie rtęciowe
14 — Zawór próżniowy
15 — Izolator anody
16 — Filtr rtęciowy
17 — Anoda wzbudzenia
18 — Katoda rtęciowa
19 — Urządzenie zapłonowe

nie różnią się od urządzeń analogicznych dla prostowników wieloanodowych.

W zestawieniu z normalnym typem wieloanodowym prostowniki pojedyńczoanodowe wykazują szereg zalet. Najważniejszymi z nich są:

1) większa sprawność, zwłaszcza w zakresie niższych napięć znamionowych do 600 V, uwarunkowana mniejszym spadkiem napięcia w łuku,

2) większa odporność na zapłon zwrotny i wahania temperatury otoczenia,

3) mniejsze koszta eksploatacyjne i większa pewność ruchu ze względu na łatwą wymienność pojedyńczych zbiorników anodowych,

4) łatwiejsza i tańsza produkcja masowa ze względu na dużą liczbę jednakowych części,

5) mniejsze wymiary ogólne i waga dla tej samej mocy, co ułatwia montaż.

Słabą stroną konstrukcji pojedyńczoanodowych jest droższy, a w odniesieniu do ignitronów również i bardziej skomplikowany układ wzbudzenia i zapłonu oraz okoliczność, iż konstrukcja ta nadaje się specjalnie dla zespołów dużej mocy lub dużej przeciążalności i trudna jest do opracowania przy chłodzeniu powietrznym. Chłodzenie powietrzne wymaga ukształtowania zbiornika próżniowego w taki sposób, aby posiadał on dużą przestrzeń kondensacyjną oddaloną od źródeł wytwarzających ciepło, a więc od anod i katody; tymczasem takie rozwiązanie dla wykonania pojedyńczoanodowego jest praktycznie niemożliwe.

Umieszczenie anody w bezpośredniej bliskości katody pozwala na poważne obniżenie spadku napięcia w łuku prostowników pojedyńczoanodowych. Spadek ten, wynoszący dla prostowników wieloanodowych od 22 do 28 V, zniża się dla ignitronów i egzytronów do wielkości 15 do 18 V. Spadek napięcia w łuku, reprezentujący całkowite straty wewnętrzne prostownika, wpływa zasadniczo na sprawność zespołu zwłaszcza dla napięć niższych, gdyż jest od napięcia bardzo mało zależny. W ten sposób prostowniki pojedyńczoanodowe dla napięć poniżej 600 V mają sprawność o 2—2.5% lepszą od konstrukcyj wieloanodowych. W miarę wzrostu napięcia znamionowego różnica stopniowo zanika.

Ogromną zaletę prostowników pojedyńczoanodowych stanowi ta okoliczność, iż składają się one jako zespół z szeregu zupełnie jednakowych części. Umożliwia to użytkownikowi trzymanie w zapasie jednego lub przeważnie dwu zbiorników anodowych. Zbiorniki te, włączone w specjalne stoisko zapasowe i zasilane niskim napięciem, utrzymywane są stale w stanie gotowym do pracy, to znaczy z próżnią odpowiedniej wysokości. W wypadku uszkodzenia któregokolwiek z czynnych zespołów zbiornik anodowy wykazujący wadliwe działanie zastępuje się zapasowym, co może być wykonane w przeciągu kilku godzin, np. w urządzeniach zasilających trakcję elektryczną — w nocnej przerwie ruchu. Uszkodzony zbiornik anodowy może być następnie badany i naprawiany bez pośpiechu lub w razie potrzeby odesłany do fabryki. Analogiczne uszkodzenie jednej z anod, uszczelnienia lub innej części związanej bezpośrednio z kadzią prostownika wieloanodowego powoduje wyłączenie z pracy na szereg dni, a nieraz miesięcy całego zespołu.

Porównując ze sobą dwa odmienne typy prostowników pojedyńczoanodowych należy stwierdzić, iż jakkolwiek ignitron wykazuje w chwili obecnej większe rozpowszechnienie w USA, jednak obok niezaprzeczalnych zalet ma on w porównaniu z egzytronem wyraźne cechy ujemne.

Zapłon wielokrotny ignitronu daje wprawdzie ogromne możliwości w zakresie regulacji pracy anod, jednak możliwości te nie są wykorzystywane z powodów trudności powstających przy regulacji zapłonu anod w szerokim zakresie, które występują niezależnie od typu prostownika. Odporność ignitronu na zapłon zwrotny jest wprawdzie większa niż prostowników wieloanodowych, jednak brak źródła wolnych elektronów w okresie ujemnego napięcia anody względem katody nie wyklucza możności powstawania zapłonu zwrotnego. Skomplikowany układ zapłonu ignitronów wymaga bardzo dokładnej regulacji oraz wysokokwalifikowanego personelu i specjalnych przyrządów w wypadku koniecznej naprawy lub regulacji. Może to powodować poważne trudności w razie braku odpowiedniego personelu na miejscu eksploatacji i znacznego oddalenia od fabryki produkującej ignitrony, jak by to było np. w warunkach polskich. W tym względzie prosty sposób wzbudzenia i zapłonu stosowany w egzytronach ma zdecydowaną przewagę.

Prostowniki pojedyńczoanodowe wykonywane są mniej więcej w granicach tych samych mocy i napięć, co duże zespoły wieloanodowe chłodzone wodą. Wprawdzie kon-

strukcja ich pozwala na większe obciążanie prądem anod, ta właściwość jest jednak wykorzystywana tylko przy zespołach na niskie napięcie.

Konstrukcje 6-anodowe budowane są przeważnie do 1 500 kW przy 600 V i do 2 000 kW przy 1 500 V lub 3 000 kW przy 3 000 V. Konstrukcje 12-anodowe budowane są do 3 000 kW przy 600 V i do 4 000 kW przy 1 500 V lub 3 000 V. W obydwu wypadkach może być wymagana przeciążalność najwyższej klasy według przepisów USA, wynosząca 50% w ciągu 2 godzin i 200% w ciągu 5 minut.

Prostowniki małej mocy w granicach do 500 kW przy 250 V oraz do 1 000 kW przy 600 V wykonywane są również jako całkowicie szczelne bezpompowe, jednak dla mocy granicznych są one chłodzone wodą.

Prostowniki do celów elektrochemicznych pracujące przy prawie stałym obciążeniu budowane są do znacznie większych mocy i np. przy 600 V jednostka normalna 6-anodowa liczona jest na prąd 5 000 A, jednostka zaś 12-anodowa na 10 000 A.

W Europie prostowniki pojedyńczoanodowe nie znalazły dotychczas szerszego zastosowania poza ZSRR, gdzie rozpoczęto produkcję próbną ignitronów już w okresie przedwojennym.

Od 1945 r. szwajcarska firma Oerlikon rozpoczęła produkcję typu pojedyńczoanodowego zbliżonego do egzytronu. Również fabryka English Electric wykonywała próbne prostowniki typu ignitronu, jednak do ostatnich czasów produkcja ta ma raczej charakter doświadczalny, zwłaszcza jeżeli chodzi o zespoły większej mocy do celów przemysłowych lub trakcyjnych. Czeska fabryka Č. M. K. D. rozpoczęła od okresu powojennego regularną produkcję egzytronów. W tym jednak wypadku obok typu chłodzonego wodą wypuszczono na rynek konstrukcję pojedyńczo-anodową, chłodzoną powietrzem o niewielkiej przeciążalności.

Również firma BBC wykonała kilka próbnych typów, przy czym wysiłki tej firmy poszły w kierunku stworzenia pojedyńczoanodowego prostownika o chłodzeniu powietrznym. W próbach znajdował się zbiornik jednoanodowy tego typu na 2 000 A, 720 V.

3. Prostowniki chłodzone powietrzem.

Powolne tempo przechodzenia na typ prostownika pojedyńczoanodowego tłumaczyć można dużym wkładem dokonanym w okresie wojennym przez firmy europejskie w udoskonalenie prostowników wieloanodowych chłodzonych powietrzem oraz bezsprzecznymi osiągnięciami konstrukcyjnymi na tym polu.

Jak prostowniki pojedyńczoanodowe prawie całkowicie wyrugowały typy wieloanodowe w USA, tak w produkcji wytwórni europejskich typ prostownika o niewielkiej liczbie anod chłodzonego powietrzem zastąpił dawne konstrukcje wieloanodowe chłodzone wodą, które obecnie praktycznie nie są zupełnie wykonywane.

Rozwiązania konstrukcyjne prostowników chłodzonych powietrzem nawiązują w wielu wypadkach — kształtem zbiornika próżniowego i sposobem umieszczenia anod w rękawach bocznych — do tradycyjnego kształtu prostowników szklanych. Uwidocznia się to specjalnie w typach prostowników włoskich Comp. Gen. de Elettr., angielskich English Electric oraz Secherona, natomiast prostowniki szwajcarskie BBC i Oerlikona utrzymują konstrukcję podobną do typów chłodzonych wodą.

Odmienną koncepcyjnie konstrukcję stanowią chłodzone powietrzem prostowniki firmy ASEA. Schematyczny przekrój zbiornika tego typu prostownika podany jest na rys. 5. Tu wszystkie anody, zarówno główne jak i zapalające oraz wzbudzające, umieszczone są w dolnej płycie, zamykającej zbiornik próżniowy od spodu. W środkowej części tej płyty umieszczona jest również katoda rtęciowa izolowana od płyty anodowej. Takie umieszczenie anod pozwala na ukształtowanie przestrzeni kondensacyjnej w postaci odpowiednio wysokiego zbiornika mającego dużą powierzchnię chłodzenia. W stosunku do rozwiązania, w którym anody umieszczone są w wyrostkach bocznych na wzór prostowników szklanych. rozwiązanie takie ma dużą zaletę prostoty kształtu zbiornika, który może być znacznie łatwiej i dokładniej wykonany i oczyszczony przed zmontowaniem. Dostęp do poszczególnych części anod i katody jest po usunięciu zbiornika łatwy. Przy niewielkiej liczbie anod (maksymalnie 6) uszczelnienie płyty dolnej daje się rozwiązać zupełnie zadawalająco. Umieszczenie anod w sposób odwrotny do normalnie praktykowanego ułatwia też znacznie zagadnienie osłon łukowych, które mogą być wsparte w sposób izolowany na stosunkowo krótkich trzonach anodowych.

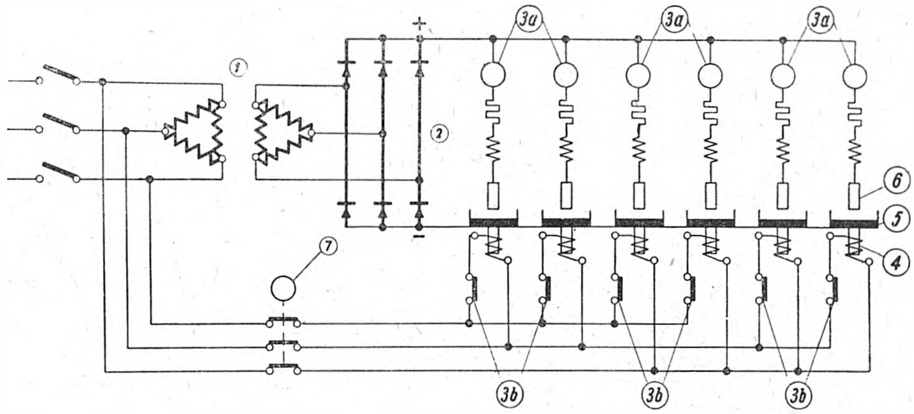
Prostowniki o podanej wyżej konstrukcji produkowane są przez ASEA jako zawory 6-anodowe, mogące pracować samodzielnie, oraz jako 3-anodowe zawory, które grupuje się po dwa lub po cztery, tworząc w ten sposób układy 6- i 12-anodowe zasilane z jednego tranformatora. Rozwiązanie takie jest do pewnego stopnia pośrednim etapem rozwojowym między prostownikiem wieloanodowym i pojedyńczoanodowym.

Drugą charakterystyczną cechą konstrukcyjną pewnych rozwiązań typowych prostowników ASEA jest wyposażenie prostowników tylko w pompy próżniowe rtęciowe. które odpompowują wydzielane gazy i przenikające przez nieszczelność powietrze do osobnego zbiornika. Zbiornik taki, stanowiący część przestrzeni kondensacyjnej prostownika, jest opróżniany okresowo przez osobną pompę wirową olejową, jedną dla szeregu zespołów prostownikowych. Przy dostatecznie dużej szczelności prostownika odpompowywanie może być konieczne raz na kilka lat. Pompa próżniowa może pracować na dość znaczne przeciwciśnienie wynoszące do 25 mm Hg.

Rozwiązanie takie usuwa z wyposażenia stałego zespołu prostowniczego urządzenia, wykonywające ruch i wymagające naturalnie dodatkowej obsługi.

W tym wypadku konstrukcja prostownika ASEA stanowi przejściowe stadium między prostownikiem pompowym a całkowicie szczelnym bezpompowym. Wprawdzie prostowniki bezpompowe w wykonaniu nowoczesnym osiągają już znaczne moce, jednak zasadnicza ich wada — niemożność wykonania żadnych napraw poza fabryką produkującą je — pozostaje nie do usunięcia.

Moce prostowników chłodzonych powietrzem, które można osiągnąć z jednego naczynia o niewielkiej liczbie anod, są ograniczone w porównaniu z mocami prostowników wieloanodowych chłodzonych wodą lub prostowników pojedyńczoanodowych. Dla 300 V ASEA produkuje 3-anodowe zawory na 1 500 A.



Rys. 4. Schemat zapłonu i wzbudzenia 6-anodowego prostownika typu egzytron

1 — Transformator wzbudzenia
2 — Prostownik selenowy
3a — Cewka przekaźnika zapłonu
3b — Styki przekaźnika zapłonu
4 — Cewka zapalająca
5 — Katoda
6 — Anoda wzbudzenia i zapłonu
7 — Przekaźnik odblokowujący

Dla 600 V największą moc wykazuje typ BBC na 3 000 A. Prostowniki włoskie i angielskie osiągają przy tym napięciu 1 000— 1 500 A. Dla 3 000 V ASEA produkuje zawory na 500 A o niedużej przeciążalności.

Prostowniki bezpompowe produkowane przez English Electric osiągają wielkości 1 600 A przy 500 V względnie 200 A przy 3 000 V (prostowniki 2 × 500 kW dostarczone ostatnio dla elektryfikacji kolei brazylijskich Sao Paulo).

4. Określenie mocy zaworu prostownikowego.

Projektowanie maszyn elektrycznych oraz większości aparatów elektrycznych oparte jest na pewnych granicznych temperaturach, które nie powinny być przekraczane przy normalnych warunkach pracy. Wielkość tych temperatur granicznych uwarunkowana jest przeważnie odpornością materiałów izolacyjnych użytych do budowy oraz założoną trwałością izolacji której starzenie się przy wzroście temperatury postępuje bardzo szybko.

Dla prostowników rtęciowych, rozważanych nie jako zespół transformator-zawór elektryczny, lecz jako oddzielny zawór, podejście do zagadnienia dopuszczalnego obciążenia od strony dopuszczalnego wzrostu temperatury najbardziej narażonych części nie daje wyniku. Moc prostowników rtęciowych ograniczona jest przez dwa czynniki — dopuszczalny wzrost temperatury poszczególnych części zaworu oraz dopuszczalną częstotliwość zjawiska zwrotnego zapłonu. Podczas gdy dla napięć prądu stałego do 300 V decydującym czynnikiem może być nagrzewanie się części prostownika, dla napięć wyższych coraz większą rolę odgrywa skłonność zaworu do zapłonu zwrotnego. Przy napięciach 600—800 V oraz wszystkich wyższych czynnik zapłonu zwrotnego jest decydujący, tak że pod względem termicznym prostownik nie jest całkowicie wyzyskany.

W celu określenia mocy granicznych dla pewnego typu i wielkości zaworu elektrycznego, na których podstawie może być oparta moc znamionowa zespołu, przyjęte jest dokonywanie prób fabrykacyjnych. Próby określenia mocy granicznej wykonywane są przez obciążenie prostownika pewnym prądem podstawowym i następnie powiększenie tego prądu skokami ściśle określonymi i w określonych odstępach czasu aż do wywołania zapłonu zwrotnego.

Rozróżniana jest przy tym zasadniczo moc graniczna ciągła, moc graniczna 5-minutowa oraz moc graniczna 1-minutowa. Przykładowe dane tego typu prób przedstawione są na rys. 6.

Zależnie od charakteru obciążenia oraz wymaganej pewności ruchu można na podstawie wyników takich prób dobrać następnie moc znamionową zaworu oraz moc prostownika z uwzględnieniem odpowiedniej przeciążalności.

Moce graniczne otrzymywane jako wynik wyżej podanych prób zależne są w dużym stopniu od temperatury zewnętrznej prostownika, ustalonej jako graniczna temperatura pracy, oraz od stopnia regulacji komutacji anod za pomocą siatek sterowniczych. Poza tym stosunek wzajemny poszczególnych mocy granicznych, tzn. mocy ciągłej i mocy krótkotrwałych, zmienia się w szerokich granicach zależnie od typu zaworu elektrycznego i od systemu chłodzenia.

W sprawie temperatury pracy należy zaznaczyć, że każda konstrukcja posiada pewną jej wartość, przy której moc graniczna uzyskiwana z prób jest największa. Po przekroczeniu tej temperatury w górę moc graniczna zaworu spada w sposób raptowny. Również przy zbyt niskich temperaturach następuje obniżenie mocy granicznej, przy czym występuje dodatkowe ciekawe zjawisko wyrównywania się mocy granicznej ciągłej i mocy krótkotrwałych.

Przy stosowaniu wymuszonej komutacji prądu anodowego za pomocą siatek sterowniczych, np. w celu regulacji napięcia stałego, następuje silne zniżenie mocy granicznej zaworu.

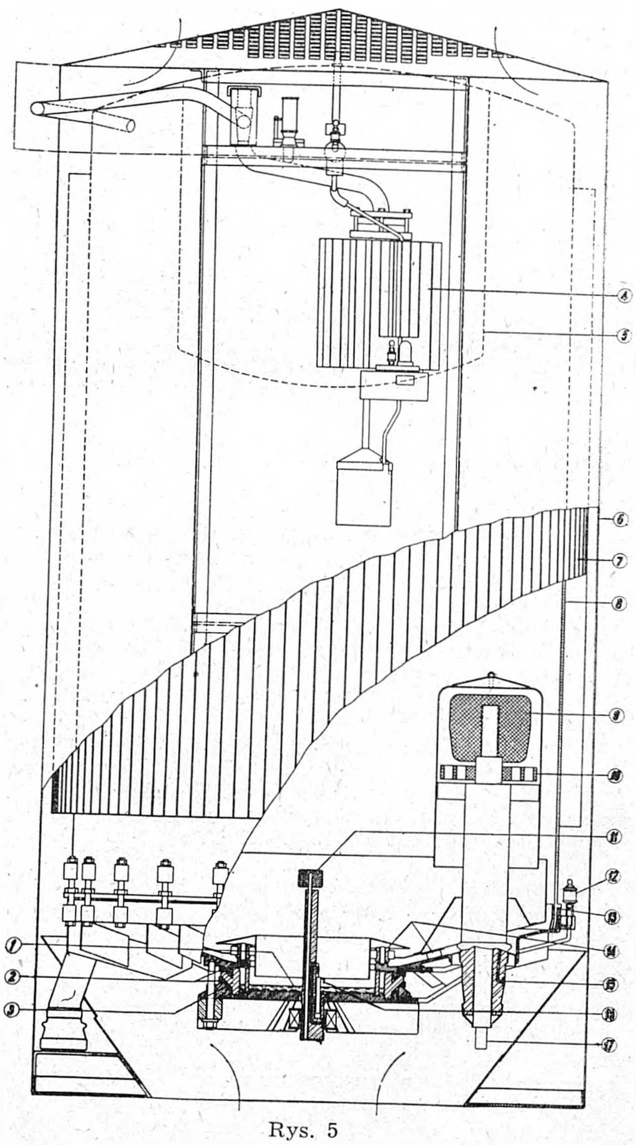
Określenie mocy znamionowej zespołu transformator-prostownik uzależnione jest od przewidywanego charakteru obciążenia. Przyjęte zostało normalne oznaczenie mocy ciągłej zespołu oraz jego przeciążalności dla pewnych ustalonych okresów czasowych.

W wielu wypadkach zastosowania prostowników obciążenie ma charakter wybitnie nierównomierny z rzutami obciążenia przekraczającymi częstokroć trzykrotną wartość średniego obciążenia np. w trakcji elektrycznej. W tym wypadku dla należytego wyzyskania dużej przeciążalności krótkookresowej, którą posiada każdy transformator, konieczne jest dobieranie zaworu elektrycznego o granicznej mocy ciągłej nieraz znacznie przewyższającej moc znamionową zespołu dla osiągnięcia dostatecznie wielkiej przeciążalności. Wobec tego, że koszt transformatora stanowi w nowoczesnych konstrukcjach conajmniej 50—60% kosztu całego zespołu, zaoszczędzona w ten sposób moc zainstalowana odbija się poważnie na kosztach inwestycyjnych.

Z powyższych względów dla obciążeń o charakterze trakcyjnym zaleca się stosowanie zespołów o dużej przeciążalności, w przeciwnym bowiem wypadku będąca do dyspozycji znamionowa moc ciągła zespołu, oparta na mocy ciągłej transformatora, nie może być w praktyce wykorzystywana skutkiem zbyt częstych zapłonów zwrotnych występujących w prostowniku.

5. Zapłon zwrotny prostownika.

Sprawa zapłonu zwrotnego jest dla prostowników dużej mocy zagadnieniem podstawowym, gdyż decyduje



Rys. 5

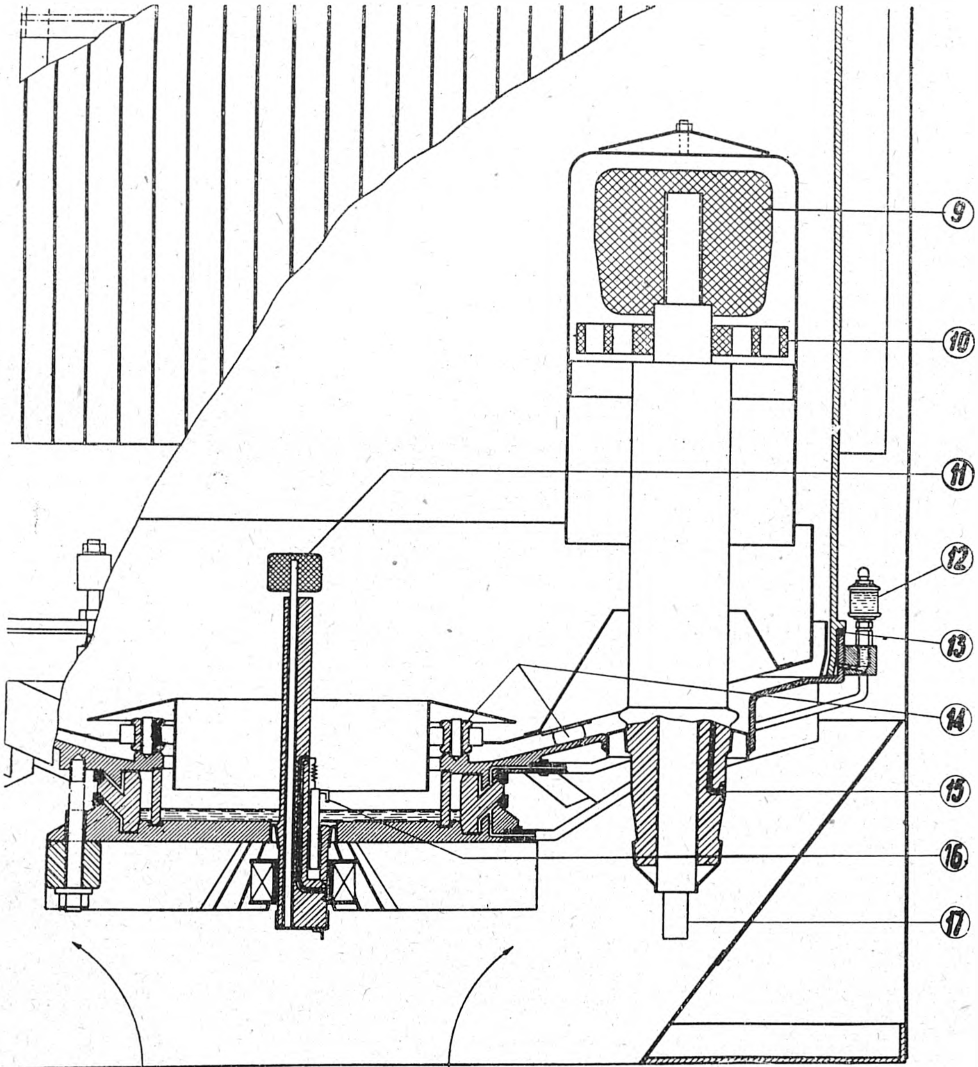
nie tylko o mocy znamionowej poszczególnych konstrukcji, lecz również o pewności pracy i sposobach zabezpieczenia obwodów elektrycznych współpracujących z prostownikami. Skutki zapłonu zwrotnego zbliżone są do skutków silnych zwarć w urządzeniach silnoprądowych i zagrażają uszkodzeniami wszystkim częściom obwodu — zarówno zasilaniu, jak transformatorowi, prostownikowi i innym zespołom współpracującym na wspólny układ prądu stałego.

Konstrukcja prostowników uwzględnia zawsze czynniki zmniejszające skłonność prostownika do zwrotnego zapłonu. Jednym z takich czynników jest osłanianie anod głównych osłonami dejonizacyjnymi, stosowane w nowoczesnych konstrukcjach na szeroką skalę. Jednak należy zdawać sobie sprawę, iż większość tych sposobów powoduje wzrost strat w łuku i zniża sprawność prostownika oraz nie może być stosowana bez ograniczeń. Również wielokrotny zapłon ignitronów nie daje praktycznie żadnych korzyści pod tym względem, co dowiodły badania prowadzone przez H. Winograda. Zapłon zwrotny występuje w większości wypadków w momencie końcowym pracy anody w chwili odwrócenia kierunku napięcia między anodą i katodą, gdy przestrzeń między anodą a katodą jest jeszcze silnie zjonizowana przepływem prądu anodowego. Wpływ jonizacji wywołanej dodatkowym łukiem wzbudzenia ciągłego jest w tym wypadku znikomy i praktycznie może być pominięty.

Tak więc konstrukcja prostownika w dzisiejszym stanie techniki nie może gwarantować zupełnego uniknięcia zapłonu zwrotnego. Dla zabezpieczenia przed jego skutkiem służą urządzenia wyłączające lub zmniejszające prąd zwrotny, które w ostatnim dziesięcioleciu również przeszły pewne przemiany.

Drugi sposób polega na wstrzymaniu pracy anod przy powstaniu zapłonu zwrotnego za pomocą doprowadzenia ujemnego potencjału równocześnie do siatek sterowniczych wszystkich anod. Dla prostowników o wzbudzeniu wielokrotnym (ignitronów) stosuje się jednocześnie przerwę zapłonu. W wypadku, gdy wszystkie zespoły pracujące na wspólną szynę z zespołem mającym zapłon zwrotny są prostownikami, postępowanie takie zapewnia teoretycznie przerwanie prądu zwrotnego w czasie najkrótszym i nie ma, zdawałoby się, powodów stosowania jakichś wyłączników w celu zabezpieczenia. Naturalnie, warunkiem koniecznym jest w tym wypadku możność zastosowania blokady siatkowej jednocześnie do wszystkich zespołów pracujących równolegle po stronie prądu stałego oraz skuteczność działania siatki sterowniczej.

Otóż doświadczenia wykazały, iż pewność działania blokady siatkowej jest niedostatecznie duża i zawodzi tym częściej, im większe są natężenia prądu anodowego. Z tych względów obecnie stosuje się blokadę siatkową tylko jako dodatkowy środek zapobiegawczy i tylko przy prostownikach o napięciu pracy wyższym od 600—800 V. Dla prostowników dużej mocy niskiego napięcia, nie wymagających siatek sterowniczych dla usprawnienia komutacji prądu, blokady siatkowej z reguły nie stosuje



Rys. 5 i 5a. Prostownik 6-anodowy chłodzony powietrzem (typ IRBL-11 firmy ASEA, prąd stały, 3 000 V, 500 A)

1 — Katoda rtęciowa
2 — Uszczelnienie izolatora katody
3 — Izolator katody
4 — Pompa próżniowa
5 — Zbiornik próżniowy pomocniczy
6 — Osłona zewnętrzna prostownika
7 — Żebrowanie chłodzenia
8 — Zbiornik próżniowy prostownika
9 — Głowica anody głównej
10 — Siatka anody głównej
11 — Anoda wzbudzenia
12 — Wskaźnik rtęciowy uszczelnienia
13 — Uszczelnienie zbiornika próżniowego
14 — Izolatory osłon łuku
15 — Zakończenie przewodu zasilania siatki
16 — Anoda zapalająca
17 — Trzpień anody głównej

Rys. 5a

Zasadniczo można rozróżnić cztery sposoby zabezpieczenia przed skutkami zapłonu zwrotnego. Pierwszy, stosowany tylko przy prostownikach małej mocy i wysokiego napięcia np. w urządzeniach pyłochłonnych, polega na włączeniu dodatkowych dużych oporów indukcyjnych w obwody anod, co powoduje ograniczenie prądu i przy pracy pojedyńczego prostownika zanik zapłonu zwrotnego. Wobec wyjątkowego charakteru stosowania tego sposobu można go tutaj pominąć.

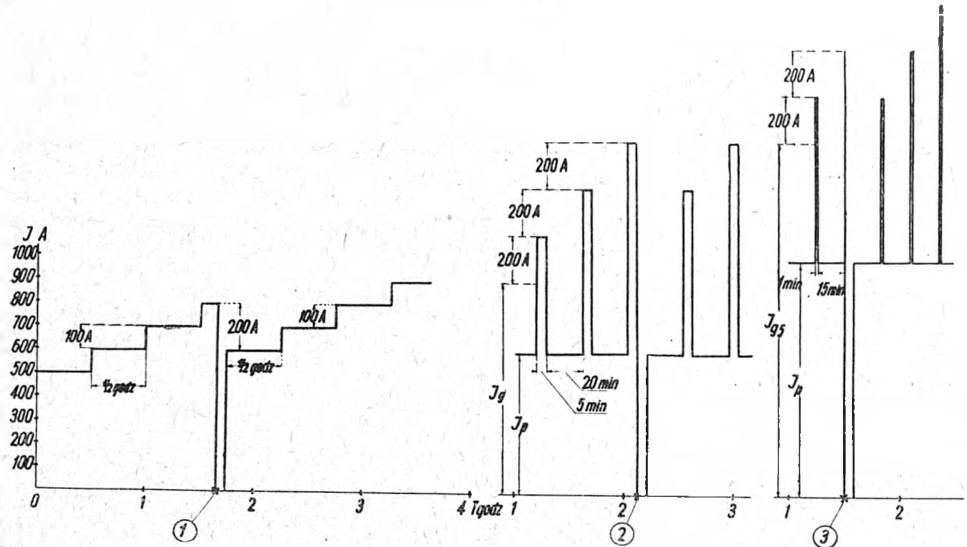
się, gdyż ta przy dużych natężeniach prądu anodowego zawodzi najczęściej.

Trzeci sposób, stosowany w najszerszym zakresie do ostatnich lat powojennych, oparty jest na zjawisku zmiany kierunku prądu podczas zapłonu zwrotnego w przewodach łączących katodę z dodatnią szyną zbiorczą. Zjawisko to powstaje jednak tylko w wypadku równoległej pracy prostownika z innymi zespołami względnie przy zasilaniu odbiornika posiadającego siłę przeciwelek-

tromotoryczną. Część prądu zwrotnego, pochodząca od zasilania przez równolegle pracujące zespoły lub od siły elektromotorycznej odbiornika, wyłącza w tym sposobie wyłącznik katodowy, budowany zazwyczaj jako wyłącznik bardzo szybki (rys. 7).

Wyłączenie składowej prądu zwrotnego pochodzącej od zasilania z własnego transformatora pozostawia się wyłącznikowi transformatora działającemu nadmiarowo.

W wypadku zapłonu zwrotnego anoda nieprawidłowo działająca zostaje natychmiast odłączona przez otwarcie odpowiednich styków wyłącznika bardzo szybkiego wielokrotnego. Na tym właściwie ogranicza się cała akcja zabezpieczająca. Jeżeli nie jest pożądane, aby prostownik pracował z wyłączoną jedną anodą, stosuje się dodatkowo uzależnienie wyłącznika bardzo szybkiego od wyłącznika katodowego, który w tym wypadku po usunięciu



Rys. 6. Próby fabrykacyjne obciążenia granicznego prostownika

1, 2, 3 — Zapłon zwrotny
I_g — Obciążenie graniczne ciągłe
$I_p = {}^2/_3 I_g$ — Obciążenie próbne podstawowe
I_{g_5} — Obciążenie graniczne 5-minut.
I_{g_1} — Obciążenie graniczne 1-minut.
Trzy kolejne zapłony zwrotne wyznaczają obciążenie graniczne

Ujemną stroną tego sposobu jest narażenie transformatora przez stosunkowo długi okres czasu na naprężenia mechaniczne i cieplne pochodzące od dużego prądu zwrotnego. Poza tym w wypadku, gdy jeden transformator zasila dwa prostowniki o osobnych wyłącznikach katodowych, co ma miejsce bardzo często przy zespołach niskiego napięcia, wyłącza się niepotrzebnie prostownik nie wykazujący zapłonu zwrotnego.

6. Wyłączniki anodowe.

Ostatnio w USA stosowany jest coraz częściej czwarty sposób zabezpieczenia, a mianowicie wyłączniki anodowe. Opiera się on na zjawisku zmiany kierunku prądu w doprowadzeniu anodowym anody, mającej zwrotny zapłon. Zjawisko to powstaje w odróżnieniu od poprzedniego zawsze, niezależnie od tego, czy prostownik pracuje pojedynczo, czy też w pracy równoległej z innymi.

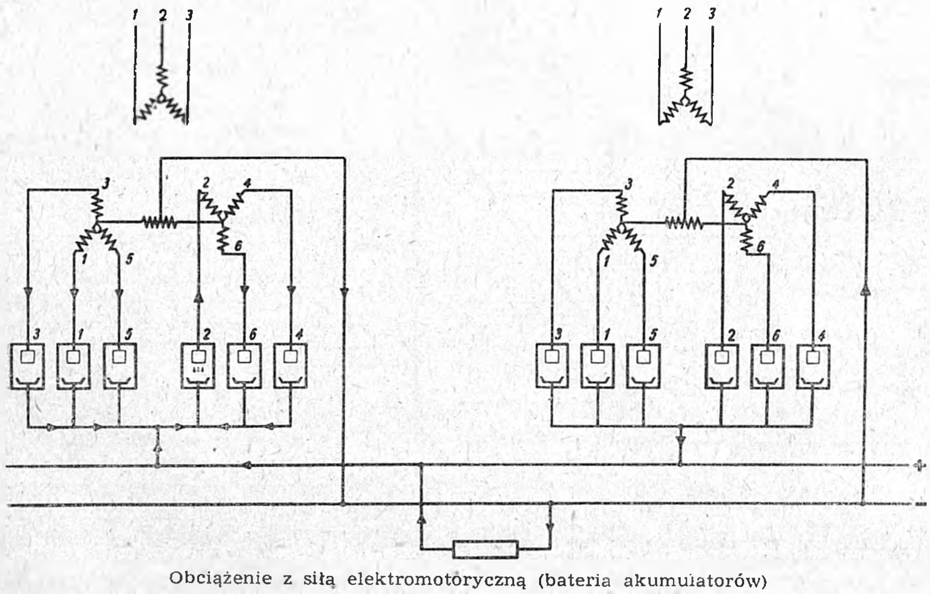
W tym wypadku wyłącznik po stronie pierwotnej transformatora ma zwykłą charakterystykę nadmiarową.

zwarcia od zapłonu zwrotnego wyłącza już tylko normalne obciążenie.

Wobec znacznie lepszych warunków pracy ostatnio opisanego typu zabezpieczenia oraz okoliczności, iż wyłączniki bardzo szybkie anodowe mogą być budowane na znacznie mniejszą moc, a zatem mimo ich większej liczby nie wypadają wiele droższe od dużego wyłącznika bardzo szybkiego katodowego, system ten znajduje coraz większe rozpowszechnienie zwłaszcza dla zakładów elektrochemicznych. Przykładowe rozwiązanie takiego układu zabezpieczeń podaje rys. 8 dla zespołu 40 MW zakładów Aluminum Company of America w Vancouver, Wash.

7. Łączenie prostowników przy bardzo dużych mocach zainstalowanych.

Przemysł elektrochemiczny skupiający bardzo duże moce prostownikowe stworzył też zupełnie specjalne zagadnienia w dziedzinie techniki łączenia zespołów pro-



Rys. 7. Kierunek przepływu prądów podczas zapłonu zwrotnego

Wszystkie anody są włączone w obwód wielokrotnego wyłącznika bardzo szybkiego z wyłączeniem od prądu zwrotnego indywidualnym dla każdej pary styków. Wreszcie katoda posiada zwykły średnioszybki wyłącznik powietrzny.

stownikowych jednej grupy. W celu dokładniejszego zobrazowania zagadnienia przytoczymy tu przykładowo moce wchodzące w grę w dużych zakładach elektrochemicznych. Tak np. zakłady Aluminum Co of Canada, Arvida Plant, posiadają trzy grupy zasilające, z których

każda posiada własną podstację przetwórczą prostownikową:

I grupa wyposażona jest w 15 jednostek 30 prostowników × 6 MW, łącznie 90 MW,

II grupa posiada 34 jednostki × 6,8 MW, łącznie 232 MW. wreszcie najnowsza i największa

III grupa wyposażona jest w 60 jednostek × 7 MW. łącznie 420 MW.

Sumaryczna moc zainstalowana w jednym zakładzie przetwórczym wynosi 742 000 kW.

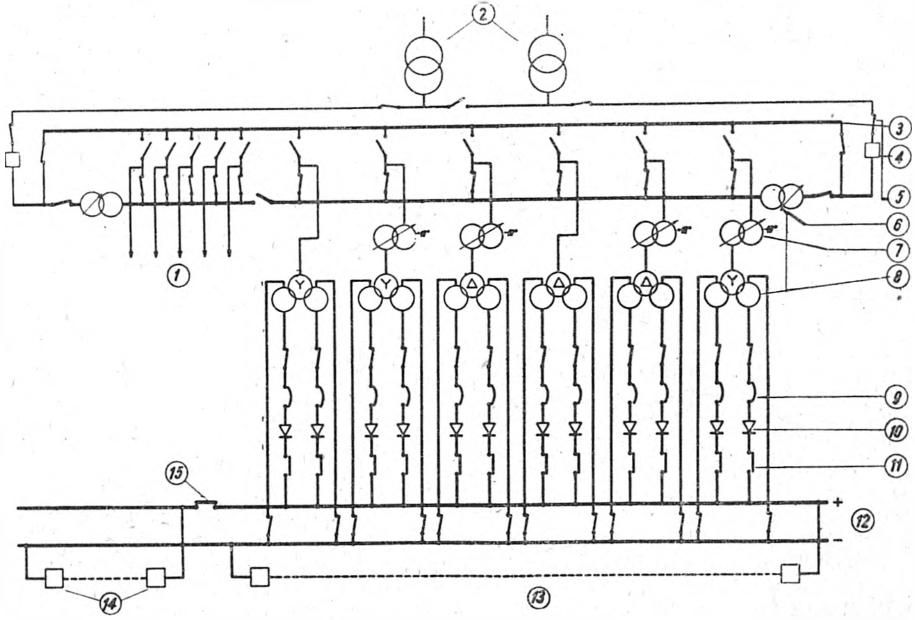
Nieco mniejsze zakłady Aluminum Co of America wspominane poprzednio posiadają łącznie 84 jednostki (po 2 prostowniki każda) × 6,45 MW, łącznie 541 MW.

Na rys. 8 przedstawione jest schematycznie typowe rozwiązanie zasilania baterii komór do elektrolizy aluminium na 60 000 A w zakładach Al. Co of Am. Vancouver.

Wobec tego, że obciążenie w tym wypadku wielokrotnie przewyższa moc znamionową poszczególnych jednostek zasilających, nawet bardzo nieduże rozbieżności w czasie zamykania się styków wyłączników zespołów prostowniczych powodują ogromne przeciążenie zespołu, który jest włączony pierwszy. W takim wypadku zespół ten z reguły daje zapłon zwrotny i zostaje odłączony, skutkiem czego powstać mogą następnie przeciążenia w kilku innych zespołach dezorganizując całość zasilania.

W urządzeniach starszego typu włączano przygotowane do pracy wzbudzone prostowniki najpierw do szyny pomocniczej, po czym zamykano na obciążenie główny wyłącznik prądu stałego. Urządzenie takiego wyłącznika było jednak bardzo kosztowne ze względu na ogromne natężenie prądu.

Po wprowadzeniu ignitronów zaczęto stosować zamiast kosztownego głównego wyłącznika i szyny pomocniczej



Rys. 8. Schemat zasilania podstacji prostownikowej na 60 000 A zakładów elektrochemicznych Aluminum Co of America

1 — Zasilanie pomocnicze
2 — 2 × 37 500 kVA, 115/13,8 kV
3 — Szyna 13,8 kV bez regulacji
4 — Wyłącznik główny 13,8 kV - 4000 A
5 — Szyna 13,8 kV ± 5%
6 — Autotransformator regulujący 40 000 kVA ± 5%
7 — Przesuwniki fazowe autotransformatorowe
8 — Transformatory główne
9 — 6-biegunowy wyłącznik bardzo szybki anodowy
10 — Prostownik, ignitron 645 V — 3225 kW
11 — Wyłącznik katodowy
12 — Szyny na 645 V
13 — Bateria pieców elektrolitycznych nr 1
14 — Bateria pieców elektrolitycznych nr 2
15 — Wyłącznik na 20 000 A

włączenie jednoczesne obwodu zapłonu wszystkich zespołów pracujących równolegle i włączonych już uprzednio (przed wzbudzeniem) po stronie prądu zmiennego i stałego. Jednak w tym wypadku częstokroć powstawały trudności we włączaniu zespołów wobec nierównomiernego rozpoczynania zapłonu poszczególnych ignitronów. Badania stwierdziły, iż przy zimnym stanie katody rtęciowej zapłon ignitronu czasami zawodzi i następują opóźnienia w stosunku do chwili włączenia napięcia, dochodzące do kilkunastu okresów. W ostatnich czasach zastosowano więc do wszystkich typów prostowników sposób, który wydaje się najskuteczniejszym.

Prostowniki włączone są na obciążenie w sposób normalny, lecz z uprzednim zablokowaniem pracy anod przez ujemny potencjał na siatce sterowniczej o wysokości rzędu 300 V (dla 650 V napięcia pracy prostownika). Dopiero po osiągnięciu stanu całkowitej gotowości do pracy wszystkich zespołów usuwa się jednym głównym wyłącznikiem potencjał ujemny doprowadzony do siatek sterowniczych, wobec czego wszystkie zespoły rozpoczynają pracę równocześnie.

INŻ. STANISŁAW BLADOWSKI

Zabezpieczenia różnicowe jako ochrona przed porażeniem i pożarem

Treść. Zerowania i uziemienia ochronne nie zawsze stanowią dostateczną ochronę przed napięciem dotyku. Autor opisuje rozmaite systemy wyłączników ochronnych. Wyłączniki ochronne działające na zasadzie różnicy prądów dają rozwiązanie problemu ochrony przed napięciem dotyku szczególnie w trudnych przypadkach, gdzie dotychczasowe sposoby ochrony okazały się niewystarczające.

Дифференциальная защита от электрического удара и от пожара. Присоединение к нулевому проводу и защитное заземление не всегда гарантируют достаточную защиту от опасного напряжения. Дается описание защитных выключателей различных систем. Защитные выключатели, действие которых зависит от разности токов, разрешают вопрос защиты от напряжения опасного при прикосновении, в особенности в трудных случаях, где применяемые доныне методы оказались неудовлетворительными.

Differential safety devices as a means of protection against shock and fire. Conductive connection with the earthed neutral and earthing systems do not prevent, under all conditions, a dangerous rise of voltage on the apparatus earthed. The author describes several systems of the earth leakage switches. The earth leakage switch with core balance relay provides the best protection against the rise of contact voltage, particularly in difficult cases.

Les protections differentielles, moyens d'assurer la sécurité contre les électrocutions et l'incendie. Les mises au neutre et les mises à la terre de protection ne constituent pas toujours une protection suffisante contre les tensions dangereuses. L'auteur décrit divers systèmes de disjoncteurs de protection. Des disjoncteurs de protection fonctionnant au moyen de relais différentiels résolvent le problème de la protection contre les tensions dangereuses, surtout dans les cas difficiles, où les moyens de protection appliqués jusqu'à ce jour se sont avérés insuffisants.

1. Wstęp.

W pomieszczeniach, w których istnieje szczególne niebezpieczeństwo porażenia elektrycznego, stosuje się w urządzeniach elektrycznych dodatkowe ochrony, a mianowicie: uziemienia ochronne, zerowania ochronne, wyłączniki ochronne.

Zabezpieczenia te mają na celu:

a) niedopuszczenie do powstawania niebezpiecznych dla otoczenia napięć dotyku, a gdy to nie jest możliwe,

b) natychmiastowe wyłączenie urządzenia elektrycznego spod napięcia, gdyby na którychkolwiek

częściach metalowych np. kadłubach i osłonach maszyn oraz wyłączników elektrycznych, na metalowych częściach urządzeń z napędem elektrycznym, na konstrukcjach żelaznych, rurociągach itp. pojawiło się napięcie dotyku, niebezpieczne ze względu na możliwość porażenia.

Napięcie dotyku jest to ta część napięcia, która przypada na ciało dotykającego w chwili, gdy przez niego przepływa prąd elektryczny. Całkowite napięcie, które wykazują wówczas części metalowe względem ziemi, będzie zazwyczaj większe od napięcia dotyku wskutek spadku napięcia na oporach przejściowych przy wejściu i przy wyjściu prądu przepływającego przez ciało dotykającego. W szczególnie niepomyślnym zbiegu okoliczności napięcie, które wykazują części metalowe względem ziemi skutkiem uszkodzenia lub przebicia izolacji, równe będzie napięciu dotyku, jeżeli dotykający ma wilgotne ręce i stoi w przemoczonym obuwiu na dobrze przewodzącej posadzce, gdyż wówczas opory przejściowe dla prądu elektrycznego przez ciało dotykającego są nieznaczne.

Przepisy Budowy i Ruchu Urządzeń Elektrycznych prądu silnego PNE-10 określają napięcie 42 woltów jako górną granicę bezpiecznego napięcia dotyku. Dotykanie części metalowych znajdujących się pod napięciem wyższym niż 42 V może być niebezpieczne dla człowieka.

Przepisy na wykonywanie zabezpieczeń ochronnych wydane w niektórych krajach przyjmują napięcie 65 V jako najwyższe dopuszczalne napięcie względem ziemi, które wykazywać mogą w przypadku uszkodzenia izolacji części metalowe urządzeń elektrycznych nie znajdujące się normalnie pod napięciem. Napięcie 65 V przyjmuje się jako najwyższe napięcie części metalowych względem ziemi przy ustalaniu dopuszczalnych największych wartości oporów uziemień ochronnych oraz wielkości prądów zwarciowych, które powinny spowodować natychmiastowe wyłączenie uziemionych lub zerowanych części metalowych w wypadku, gdy znajdą się one pod napięciem. Wyłączenie uważa się za natychmiastowe, gdy nastąpi w ciągu 0,10—0,40 sek. od chwili pojawienia się niebezpiecznego napięcia na chronionych częściach metalowych. Przepływający wówczas prąd zwarcia, zależnie od przebiegu charakterystyki wyłączania, powinien wynosić 2,5—6-krotną wartość znamionową zabezpieczeń nadmiarowych, znajdujących się najbliżej miejsca uszkodzenia izolacji.

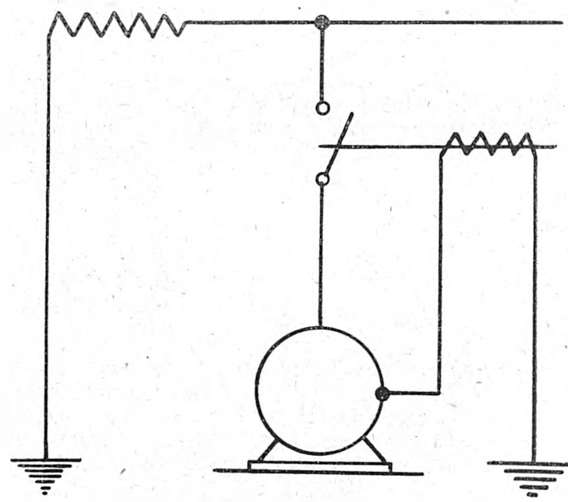
Praktyka wykazała, iż ani uziemienia, ani zerowania ochronne nie stanowią jeszcze ostatecznego rozwiązania ochrony od porażeń, prawidłowe bowiem działanie tych zabezpieczeń ochronnych uzależnione jest od spełnienia szeregu wymagań przepisowych, którym jednak w praktyce nie zawsze można uczynić zadość.

Gdy nie ma rozległej sieci wodociągowej, której można byłoby użyć do wykonywania uziemień, a przy pomocy uziomów płytowych lub rurowych trudno uzyskać wymagane niskie opory uziemień ochronnych, wówczas uziemienie części metalowych nie daje żądanego stopnia zabezpieczenia. Zaznaczyć należy, iż opory uziemień nie są stałe, lecz ulegają zmianom zależnie od wilgotności gruntu, poziomu wody gruntowej, pory roku, a także od wielkości i czasu przepływu prądu przez uziom.

Znaczne trudności napotyka się przy wykonywaniu uziemień ochronnych dla większych odbiorników elektrycznych, a szczególnie dla odbiorników ruchomych w rolnictwie i górnictwie. Wykonywanie uziemień ochronnych ruchomych wrębówek i wiertarek ręcznych, pracujących w przodkach kopalni, jest szczególnie trudne ze względu na charakter i warunki pracy tych urządzeń. Uziemienia w tych przypadkach musiałyby być wykonywane nieraz w odległości kilkuset metrów od miejsca pracy wiertarki lub wrębówki. Skuteczność ochrony przed napięciem dotyku jest przy tak odległych uziemieniach bardzo wątpliwa. Uziemiony kadłub wiertarki elektrycznej przy zwarciu z nim przewodu jednej fazy może wykazywać w tych warunkach napięcie dotyku równe iloczynowi natężenia prądu zwarcia z ziemią i oporu uziemienia. Jeżeli opór uziemienia ochronnego jest duży, wielkość napięcia dotyku może być niebezpieczna ze względu na możliwość porażenia, przy czym stan ten może się utrzymywać czas dłuższy, jeżeli natężenie prądu zwarcia z ziemią jest za małe, aby nastąpiło natychmiastowe wyłączenie zabezpieczeń nadmiarowych.

Pewność, że nastąpi zawsze samowyłączenie spod napięcia uziemionych części urządzeń elektrycznych w razie uszkodzenia izolacji, jest wątpliwa, gdyż wielkość prądu zwarcia, który by spowodował wyłączenie zabezpieczeń nadmiarowych, zależy od oporów uziemień, te zaś są zmienne i zależne od tylu czynników zewnętrznych, iż trudno je z góry przewidzieć i ustalić przy projektowaniu urządzenia ochronnego.

Korzystniej pod względem pewności samowyłączenia przedstawia się już ochrona części metalowych przez zerowanie. Wielkość prądu zwarcia z kadłubem zerowanym odbiornika zależy tu, pomijając opory miejsca przebicia izolacji, wyłącznie od oporów żyły fazowej i zerowej, które są praktycznie stałe i na które możemy liczyć zarówno przy projektowaniu urządzenia ochronnego, jak i w czasie jego pracy. W przewodach ruchomych, a także w przewodach napowietrznych zachodzi jednak możliwość uszkodzenia i zerwania żyły uziemiającej lub zerującej, a wówczas części metalowe pozostają bez żadnej ochrony. Przy przerwie przewodu zerującego i równoczesnym zwarciu fazy z zerowanym kadłubem odbiornika, znajdującym się za przerwą, nie tylko samo urządzenie, w którym nastąpiło uszkodzenie izolacji, ale również i wszystkie inne zerowane części metalowe, znajdujące się za przerwą przewodu zerowego, wykazywać będą niebezpieczne napięcie dotyku. Toteż gdy uziemienie lub zerowanie okazać się może niedostatecznie pewną ochroną przed napięciem dotyku, lub gdy wykonanie prawidłowych uziemień lub zerowań części metalowych jest trudne lub nawet niemożliwe, wówczas stosuje się dla zwiększenia stopnia bezpieczeństwa, oprócz uziemień ochronnych, wyłączniki ochronne, które mają za zadanie wyłączenie właściwej części urządzenia elektrycznego w



Rys. 1. Wyłącznik ochronny działający bezpośrednio pod wpływem natężenia prądu zwarcia z ziemią

wypadku pojawienia się na osłonach, kadłubach lub innych chronionych częściach metalowych zbyt wysokiego i niebezpiecznego napięcia dotyku.

Wyłączniki ochronne można podzielić na grupy zależnie od sposobu działania, a mianowicie w zależności:

1) od przepływu prądu zwarcia z ziemią między przedmiotem chronionym (kadłubem, pokrywą metalową itp.) a uziemieniem ochronnym,

2) od pojawienia się nadmiernego napięcia między chronioną częścią metalową a osobnym uziemieniem wyłącznika ochronnego,

3) od zmiany napięcia, która powstaje między częściami uziemionymi a sztucznym punktem zerowym wyłącznika ochronnego podczas przepływu prądu zwarcia z ziemią,

4) od różnicy prądów, która powstaje w przewodach doprowadzających prąd do odbiornika na skutek zwarcia z ziemią w chronionym odbiorniku.

Omówimy zasady działania wyżej wymienionych typów wyłączników ochronnych ze szczególnym uwzględnieniem tych, które działają w zależności od różnicy prądów i stanowią obecnie najbardziej doskonałą formę

ochrony przed niebezpieczeństwem porażenia i pożaru w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia.

Dla uproszczenia przyjmujemy, iż sieć zasilająca prądu trójfazowego posiada uziemiony punkt gwiazdowy transformatora, poszczególne zaś odbiorniki chronione są przed niebezpiecznym napięciem dotyku przez uziemienia oraz omawiany system wyłączników ochronnych.

2. Wyłączniki ochronne działające pod wpływem natężenia prądu zwarcia z ziemią.

Wyłączniki tego typu stosowane od szeregu lat w urządzeniach niskiego napięcia można podzielić na dwa rodzaje, a mianowicie:

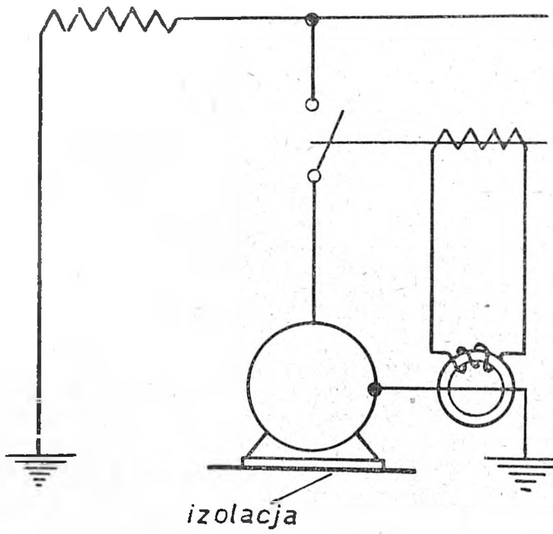
a) stosowane do ochrony odbiorników, które mogą mieć połączenie z ziemią wyłącznie za pośrednictwem przewodu uziemiającego,

b) stosowane do ochrony odbiorników, które mogą same stykać się z ziemią niezależnie od uziemienia ochronnego.

W pierwszym przypadku chroniony odbiornik jest praktycznie izolowany od ziemi i jedyne jego połączenie z ziemią stanowi przewód uziemiający. W razie zwarcia z ziemią całkowity prąd zwarcia przepłynie do ziemi wyłącznie przez przewód uziemiający. Jeżeli w obwodzie przewodu uziemiającego znajduje się cewka wyłącznika ochronnego, przepływający prąd zwarcia z ziemią może powodować otwarcie wyłącznika głównego danego odbiornika. Wyłączenie to nastąpić może znacznie wcześniej, nim prąd zwarcia z ziemią w uszkodzonym odbiorniku osiągnie tak znaczną wartość, iż nastąpi spalenie się stopek lub działanie zabezpieczeń nadmiarowych. Rys. 1 przedstawia układ połączeń wyłącznika ochronnego tego typu.

Wyłącznik ochronny działać będzie również i w tych przypadkach, gdy zbyt duże opory uziemień ochronnych nie zabezpieczają przed pojawieniem się niebezpiecznych napięć dotyku na uziemionych częściach metalowych. Wyłączniki ochronne tego typu znane są pod nazwą wyłączników Heinisch-Riedla i stosowane są w urządzeniach elektrycznych w przypadkach, gdy uziemienia ochronne nie dają wymaganego stopnia bezpieczeństwa przed porażeniem.

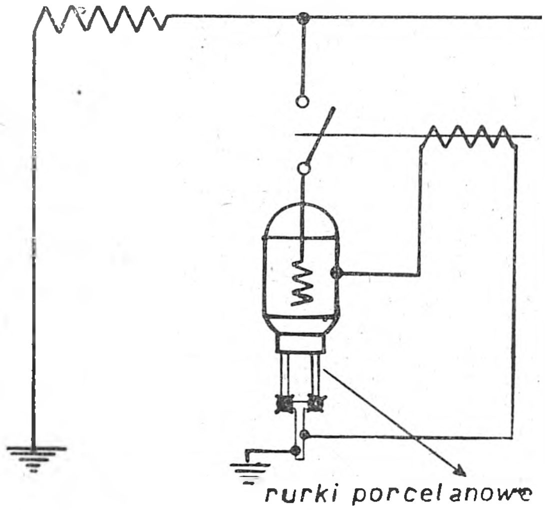
Dla zwiększenia czułości działania powyższych wyłączników zastosowano p o ś r e d n i e działanie prądów zwarcia z ziemią na obwód wyłącznika ochronnego przez wbudowanie w obwód przewodu uziemiającego transformatorka prądowego, którego wtórne uzwojenie włączone jest w obwód cewki wyłącznika ochronnego; indukowana w tym uzwojeniu siła elektromotoryczna powoduje wyłączenie uszkodzonego odbiornika spod napięcia (rys. 2). Ten układ wyłącznika ochronnego podany przez Howarda stosowany bywa w Anglii*).



Rys. 2. Wyłącznik ochronny działający pośrednio pod wpływem natężenia prądu zwarcia z ziemią

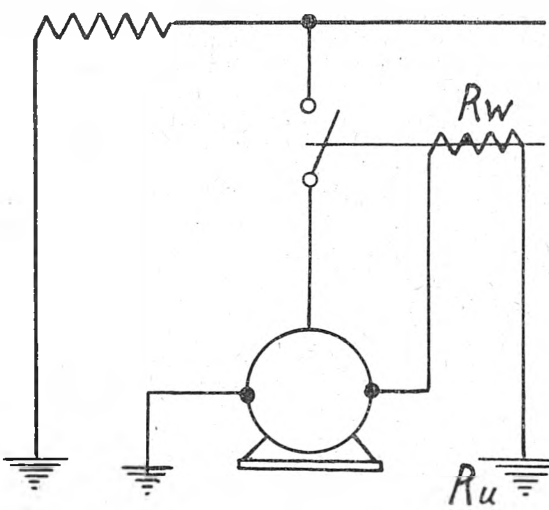
*) Carr T. H. Electr. Engr., Londyn, 1941, str. 115.

Omówione wyżej systemy wyłączników ochronnych działają przy założeniu, że w razie przebicia izolacji dowolnej fazy do uziemionego kadłuba, całkowity prąd zwarcia z ziemią przepłynie tylko przez przewód uziemiający i umieszczoną w nim cewkę lub transformatorek prądowy wyłącznika ochronnego, czyli, że poza uziemieniem kadłuby i osłony metalowe chronionych urządzeń elektrycznych nigdzie nie stykają się z ziemią.



Rys. 3. Wyłącznik ochronny działający pod wpływem natężenia prądu zwarcia z ziemią w przypadku, gdy chronione urządzenie styka się z ziemią poza właściwym uziemieniem

Są jednak w praktyce przypadki, kiedy części metalowe urządzeń elektrycznych, które mają być zabezpieczone przed napięciem dotyku, stykają się z ziemią poza właściwym uziemieniem bądź ze względu na rodzaj swej pracy, bądź ze względu na sposób swego ustawienia. Silniki pomp wodnych, warniki elektryczne oprócz uziemienia ochronnego mają połączenie z ziemią za pośrednictwem słupa wody; silniki ustawione na konstrukcji żelaznej dźwigów i suwnic mają oprócz prawidłowego uziemienia połączenie metaliczne z konstrukcją żelazną, do której są przymocowane, a która może być też uziemiona. W tych przypadkach w razie zwarcia przewodu jednej fazy z uziemionym kadłubem tylko część prądu zwarcia z ziemią przepłynie przez przewód uziemiający i włączoną w jego obwód cewkę lub transformatorek wyłącznika ochronnego. Część prądu zwarcia z ziemią przejdzie bezpośrednio do ziemi w miejscach przypadkowego zetknięcia się odbiornika z ziemią lub z innymi urządze-



Rys. 4. Wyłącznik ochronny działający pod wpływem spadku napięcia

niami, które są uziemione. Rozpływ prądów nastąpi zależnie od oporów w obu gałęziach przepływu prądu. Ażeby i w takich przypadkach działanie wyłączników ochronnych było prawidłowe, należy izolować chroniony odbiornik względem ziemi (rys. 3) np. przez włączenie rurek z materiału izolacyjnego do odpływu i przypływu wody do warnika elektrycznego, stosowanie podkładek izolacyjnych w miejscu umocowania silnika do konstrukcji żelaznej itp. Jeżeli z jakichkolwiek powodów nie jest to możliwe, wówczas działanie wyłączników ochronnych opiera się na spadku napięcia, który powstaje na cewce wyłącznika ochronnego przy przepływie prądu zwarcia z ziemią.

3. Wyłączniki ochronne działające pod wpływem spadku napięcia.

Schemat działania takiego wyłącznika przedstawia rys. 4. Jest on również znany pod nazwą wyłącznika Heinisch-Riedla ze względu na podobny układ połączeń. Cewka wyłącznika ochronnego powoduje wyłączenie chronionego odbiornika z sieci, gdy napięcie między kadłubem tego odbiornika a osobnym uziemieniem pomocniczym wyłącznika ochronnego przekroczy pewną wartość, na którą go można z góry nastawić.

Napięcie między metalową częścią chronioną przez wyłącznik a ziemią przy przepływie prądu przez cewkę wyłącznika do ziemi wyniesie:

$$U = I \cdot \sqrt{(R_w + R_u)^2 + (\omega \cdot L)^2},$$

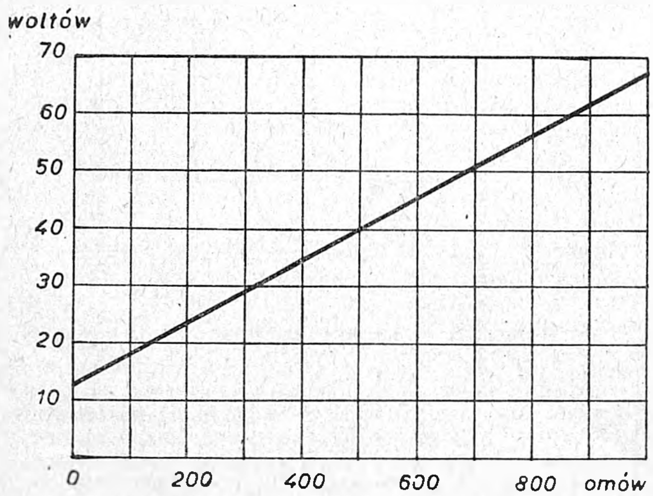
gdzie

R_w — opór cewki wyłącznika ochronnego,
R_u — opór uziemienia pomocniczego,
$\omega \cdot L$ — opór indukcyjny cewki wyłącznika ochronnego,
I — natężenie prądu przepływającego przez cewkę.

Jeżeli opór cewki wyłącznika R_w jest dostatecznie duży w stosunku do oporu R_u, wówczas działanie wyłącznika ochronnego będzie mało zależne od wielkości oporu uziemienia pomocniczego R_u.

Rys. 5 podaje napięcia dotyku, przy których wyzwalacz wyłącznika ochronnego zaczyna działać, w zależności od oporu uziemienia pomocniczego. Jak z wykresu wynika, nawet przy dużym oporze uziemienia pomocniczego (około 800 omów) napięcie, przy którym następuje wyłączanie, leży poniżej 65 woltów.

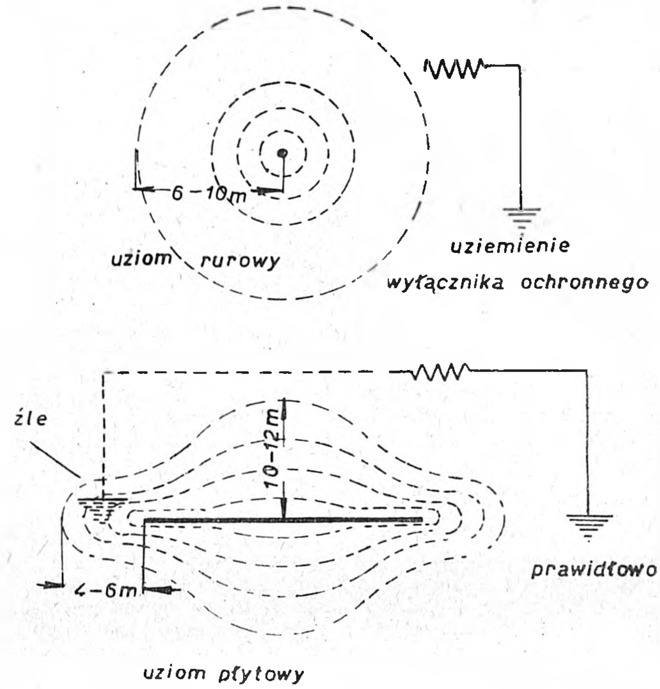
Wyłączniki ochronne tego typu posiadać muszą osobne uziemienie pomocnicze zupełnie niezależne od uziemienia odbiornika chronionego. Miejsce na wykonanie uziemienia pomocniczego musi być wybrane poza zasięgiem



Rys. 5. Zależność napięcia dotyku od oporu uziemienia pomocniczego

wpływu uziomu odbiornika. Podczas przepływu prądu zwarcia z ziemią I_z przez uziemienie ochronne o oporze R_u powstanie dokoła uziomu spadek napięcia $I_z \cdot R_u$, który przy samym uziomie równa się zeru, lecz w miarę oddalania się od uziomu dochodzi do pełnej swej wartości. Rozkład spadku napięcia na powierzchni ziemi dokoła uziomu przedstawia się w postaci linii równego spadku napięcia, na wykresie zaś tworzy tzw. „lej napięciowy" dokoła uziomu, którego średnica zewnętrzna, a więc zasięg wpływu uziomu wynosi 10 do 20 m. Rys. 6 podaje rozkład spadku napięcia dokoła uziomu w postaci rury i w postaci płyty, przy czym zaznaczono wadliwy i prawidłowy sposób umieszczenia uziomu pomocniczego wyłącznika ochronnego.

Przewody łączące cewkę wyłącznika ochronnego z uziomem pomocniczym muszą być izolowane względem ziemi i uziemionych części metalowych, aby uniknąć zwarcia cewki, a więc i niedziałania wyłącznika ochronnego. Gdy opory uziemień urządzeń elektrycznych chro-



Rys. 6. Rozkład spadku napięcia dokoła uziomu rurowego i płytowego

nionych dodatkowo wyłącznikiem ochronnym są małe. wówczas zasięg spadku napięć dokoła uziomu podczas przepływu prądu zwarcia z ziemią jest bardzo znaczny. Wobec tego długości przewodów łączących cewkę wyłącznika ochronnego z uziomem pomocniczym, który musi się znajdować poza sferą wpływu uziemień głównych. stają się dość znaczne, a to podnosi koszt urządzenia ochronnego. Ponieważ opory uziemień, jak i natężenia prądów zwarcia z ziemią przepływające przez uziom są różne, nie jest wykluczone, że uziemienie ochronne, umieszczone prawidłowo dla pewnych założeń rozkładu spadków napięć, może w zmienionych warunkach znaleźć się w zasięgu działania pola spadku napięć uziomu lub jakiego innego przedmiotu metalowego uziemionego przez który przypadkowo przepłynie prąd zwarcia z ziemią. Pewność działania wyłącznika ochronnego jest wówczas wątpliwa.

4. Wyłączniki ochronne, których działanie opiera się na zmianie napięcia między punktami zerowymi.

Przy pomocy 3 kondensatorków o pojemności około 0,5 μF tworzy się przy wyłączniku ochronnym sztuczny punkt gwiazdowy sieci trójfazowej (rys. 7). W przypadku odbiornika jednofazowego w sieci trójfazowej tworzy się sztuczny punkt gwiazdowy przez połączenie jednego kondensatora i dwóch oporników równolegle (rys. 8)*). Przy prawidłowym stanie urządzeń elektrycznych między sztucznym punktem gwiazdowym a rzeczywistym punktem gwiazdowym — zerowym — odbiornika, który może być uziemiony i połączony z kadłubem, nie ma w zasadzie napięcia. Dopiero w przypadku zwarcia przewodu dowolnej fazy z uziemionym kadłubem odbiornika, gdy przez uziemienie przepłynie prąd zwarcia z ziemią, punkt

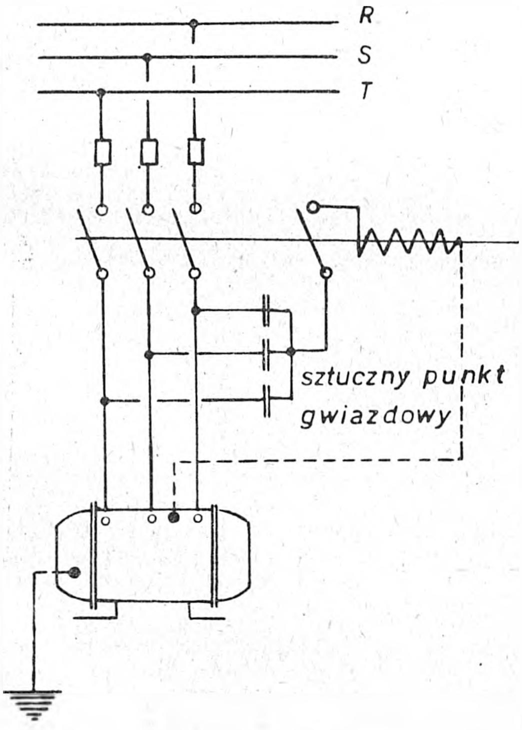
*) Zimmermann G. Der künstliche Nullpunkt zwischen zwei Hauptleitern eines Mehrphasennetzes. ETZ, 1939, str. 1209.

gwiazdowy uzwojeń odbiornika znajdzie się pod napięciem względem idealnego punktu zerowego sieci utworzonego przez układ trzech kondensatorków. Przez cewkę wyłącznika ochronnego, włączoną między sztuczny punkt gwiazdowy a rzeczywisty punkt zerowy, przepłynie wówczas wskutek powstania napięcia prąd elektryczny, który w pewnych warunkach może spowodować wyłączenie uszkodzonego odbiornika spod napięcia. Spadek napięcia na cewce wyłącznika ochronnego będzie tylko częścią napięcia dotyku, które wykaże część metalowa chroniona przez wyłącznik, gdyż reszta przypadnie na oporniki względnie kondensatorki, które służą do utworzenia sztucznego punktu gwiazdowego, nie mniej jednak działanie wyłącznika można tak nastawić, że spowoduje on wyłączenie chronionych odbiorników po przekroczeniu pewnej wartości napięcia dotyku względem ziemi.

Stosowanie wyłączników tego typu w praktyce napotyka na poważne trudności wskutek niesymetrii obciążeń i napięć sieciowych, której trudno uniknąć, a która powoduje również przesunięcie punktu gwiazdowego sieci, choć izolacja układu jest w porządku. Następują wówczas mylne wyłączania i trudności przy włączaniu odbiorników do sieci, chronionych wyłącznikami tego typu. Głównie z powodu tych trudności wyłączniki działające przy zmianie napięcia między punktami gwiazdowymi w praktyce nie znalazły szerszego zastosowania*).

5. Wyłączniki ochronne działające przy powstaniu różnicy prądów.

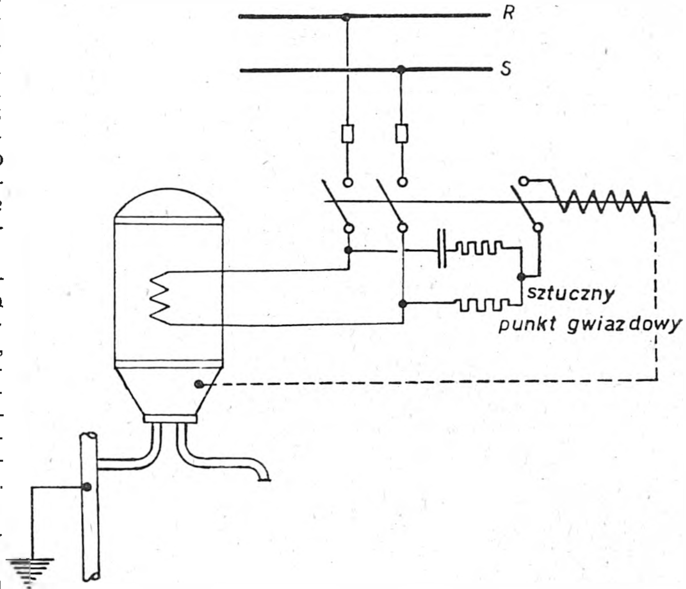
Ochrony różnicowe stosowane są już od dawna w celu zabezpieczenia generatorów i transformatorów wysokiego napięcia w razie uszkodzenia izolacji i zwarcia z kadłu-



Rys. 7. Wyłącznik ochronny działający w zależności od zmiany napięcia między punktami zerowymi w przypadku odbiornika jednofazowego

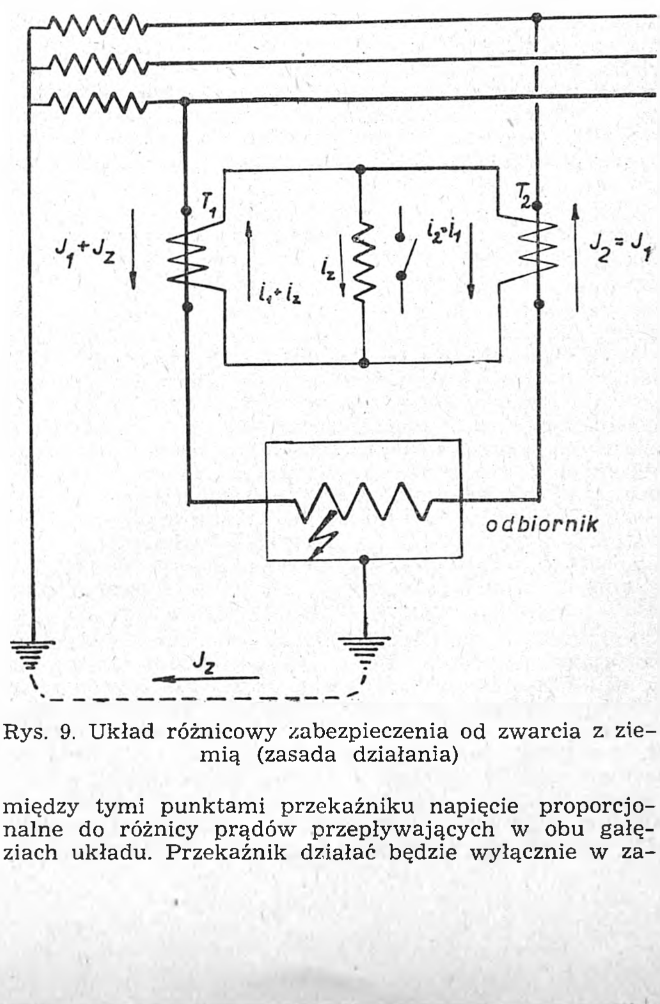
bem. Zasada tych zabezpieczeń polega na tym, iż w prawidłowo izolowanym odbiorniku, np. generatorze lub silniku elektrycznym, suma geometryczna prądów przepływających przez przewody zasilające równa się zawsze zeru. Jeżeli jednak w odbiorniku elektrycznym powstanie zwarcie z ziemią i część prądu przepłynie przez ziemię, wówczas suma geometryczna prądów płynących w przewodach do tego odbiornika jest różna od zera.

Rys. 9 podaje ogólną zasadę działania układów różnicowych zabezpieczeń od zwarcia z ziemią. W przewodach zasilających odbiornik *M*, którego kadłub jest uziemiony, wbudowane są transformatorki prądowe T_1 oraz T_2, których uzwojenia wtórne połączone są ze sobą. Przy prawidłowym stanie izolacji uzwojeń odbiornika prądy płynące w obu przewodach I_1 oraz I_2 są sobie równe, to też



Rys. 8. Wyłącznik ochronny działający w zależności od zmiany napięcia między punktami zerowymi w przypadku odbiornika jednofazowego

między punktami *a* i *b* po wtórnej stronie transformatorków prądowych nie ma napięcia. Z chwilą przebicia izolacji i zwarcia z uziemionym kadłubem przepłynie do ziemi prąd upływowy I_z. Wówczas przez transformatorek T_1 przepłynie prąd $I_1 + I_z$, przez transformatorek zaś T_2 tylko prąd $I_2 = I_1$. Po wtórnej stronie transformatorków prądowych odpowiednie wartości prądów są: $i_1 + i_z$ oraz $i_2 = i_1$. Suma geometryczna tych prądów jest teraz różna od zera i wynosi i_z. Powstanie przeto między punktami *a* i *b* oraz we włączonym



Rys. 9. Układ różnicowy zabezpieczenia od zwarcia z ziemią (zasada działania)

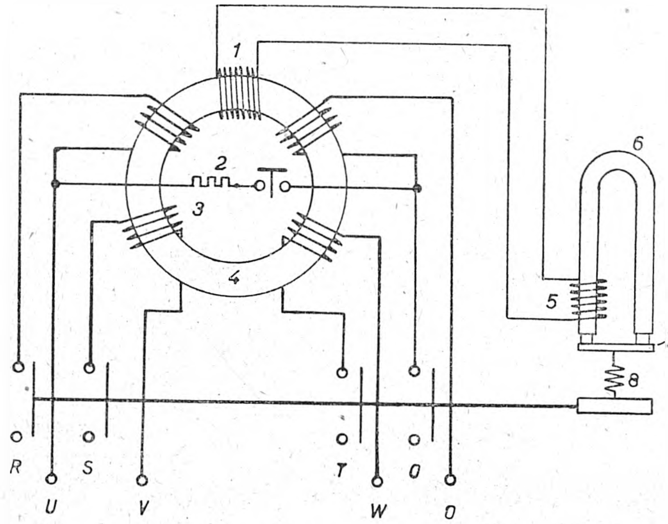
między tymi punktami przekaźniku napięcie proporcjonalne do różnicy prądów przepływających w obu gałęziach układu. Przekaźnik działać będzie wyłącznie w za-

*) Schrank W. Schutz gegen Berührungsspannungen. 1942, str. 178.

leżności od wielkości natężenia prądu i_z i przy pewnej z góry ustalonej wartości prądu zwarcia z ziemią I_z powodować będzie wyłączenie uszkodzonego odbiornika z sieci.

Zwarcia z ziemią w innych częściach sieci poza wyłącznikiem różnicowym, a także zwarcia międzyprzewodowe powstałe wewnątrz chronionego odbiornika elektrycznego nie mają wpływu na zabezpieczenia różnicowe, które działają wyłącznie w zależności od prądu zwarcia z ziemią I_z.

Wyłączniki ochronne działające przy powstaniu różnicy prądów można stosować zarówno w sieciach prądu zmiennego, jak i prądu stałego do ochrony urządzeń elektrycznych w przypadku zwarcia z ziemią. W sieciach prądu stałego zamiast transformatorków prądowych



Rys. 10. Układ połączeń wyłącznika różnicowego

stosuje się rdzeń magnetyczny posiadający dwa uzwojenia, przez które przepływają prądy przewodowe. W prawidłowym stanie chronionego urządzenia pola magnetyczne obu uzwojeń znoszą się, gdyż są przeciwnie skierowane, suma zaś arytmetyczna prądów, płynących w obu przewodach zasilających prądu stałego, do chronionego odbiornika, równa się zeru. W razie różnicy prądów, spowodowanej upływem do ziemi skutkiem uszkodzenia izolacji w chronionym odbiorniku, wypadkowe pole magnetyczne powstałe w rdzeniu działa na wyzwalacz wyłącznika głównego i powoduje wyłączenie.

Zarówno przy prądzie zmiennym, jak i stałym wszystkie przewody należące do układu sieci, a więc także i przewody zerowe w sieciach z przewodem zerowym muszą być objęte układem różnicowym.

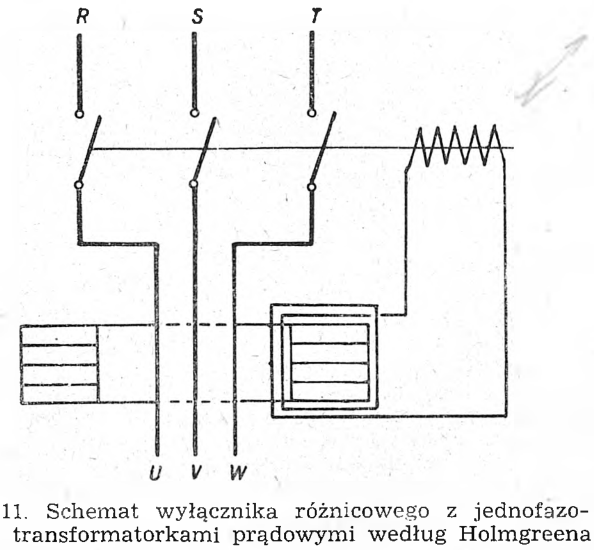
Pomysły stosowania wyłączników różnicowych do ochrony przed napięciem dotyku w urządzeniach niskiego napięcia spotykamy dość często w ostatnich dziesięcioleciach zarówno w literaturze fachowej, jak i patentowej. Na przeszkodzie ich realizacji stały przede wszystkim trudności w otrzymaniu odpowiedniego materiału magnetycznego o dużej przenikalności na rdzenie żelazne transformatorków i cewek, aby już przy nieznacznej różnicy prądów w przewodach na skutek upływu do ziemi uzyskać znaczny strumień magnetyczny w rdzeniach. Dopiero w ostatnich latach dzięki postępom w produkcji stopów o znacznej przenikalności magnetycznej udało się uzyskać dostatecznie czułe wyłączniki ochronne, które nadawałyby się jako zabezpieczenia przed porażeniem w urządzeniach niskiego napięcia.

Już przed wojną zaczęto w Ameryce i Anglii stosować zabezpieczenia różnicowe do ochrony przed napięciem dotyku odbiorników tam, gdzie uziemienia i zerowania ochronne nie dawały dostatecznego stopnia bezpieczeństwa, np. do zabezpieczenia wrębówek elektrycznych w kopalniach węgla i innych większych odbiorników ruchomych. W Niemczech dopiero w ostatnich latach, podczas wojny, zaczęto się bliżej interesować zastosowaniem wyłączników różnicowych jako ochrony przed niebezpieczeństwem porażenia i pożaru w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia. Typy wyłączników różnicowych, wykonane na podstawie badań i patentów Związku Elektrowni Reńsko-Westfalskich, wykazały dużą czułość oraz prostotę budowy.

Rys 10 przedstawia układ połączeń wyłącznika różnicowego tego typu. Składa się on z rdzenia pierścieniowego (4), na którym znajdują się uzwojenia tylu cewek (3), ile jest przewodów zasilających chroniony odbiornik, a ponadto jeszcze dodatkową cewkę (1) dla wyzwalacza. Każdy przewód fazowy, a także przewód zerowy posiadają jednakową liczbę uzwojeń na rdzeniu pierścieniowym. Przy prawidłowym stanie izolacji odbiornika względem ziemi suma geometryczna prądów przepływających przez poszczególne cewki równa się zeru, a tym samym indukowane przez te prądy w rdzeniu strumienie magnetyczne znoszą się całkowicie. W przypadku zwarcia z ziemią w chronionym odbiorniku powstanie w przewodach różnica prądów, wypadkowy zaś strumień magnetyczny w rdzeniu pierścieniowym spowoduje przepływ prądu w cewce przekaźnika (1) oraz odłączenie odbiornika.

Celem zmniejszenia spadku napięcia przy przepływie prądu głównego przez uzwojenia na rdzeniu pierścieniowym liczba zwojów każdej cewki jest bardzo mała, to też moc całego układu jest niewielka. Aby i w tych warunkach uzyskać wyłączanie odbiornika, prąd powstający w cewce przekaźnikowej wskutek niesymetrii prądów głównych działa na spolaryzowany przekaźnik, którego magnesy stałe (6) trzymają zworę (7), pokonując siłę sprężyny (8). Przy przepływie prądu przez uzwojenia (5) spolaryzowanego przekaźnika następuje osłabienie pola magnesów trwałych tak, iż najpóźniej w drugiej połowie okresu, czyli po upływie 1/50 sekundy, sprężyna odrywa zworę od spolaryzowanego magnesu powodując wyłączanie.

Szybkość wyłączania, jeżeli uwzględnić bezwładność mechanizmu wyłącznika, jest bardzo duża, w każdym razie wystarczająca, aby stworzyć zabezpieczenie przed porażeniem. Natężenie prądu w cewce przekaźnikowej, proporcjonalne do prądu zwarcia z ziemią w chronionym odbiorniku powodującego wyłączenie, można dowolnie nastawić. Czułość tak wykonanego przekaźnika różnicowego jest bardzo duża: już przy przepływie prądu do ziemi o natężeniu 5 mA można uzyskać wyłączenie. W praktyce tak duża czułość na ogół nie jest wymagana. Nierównomierność rozkładu pojemności i upływności w urządzeniu chronionym mogłaby przy zbyt wielkiej czułości wyłącznika różnicowego powodować mylne wyłącze-



Rys. 11. Schemat wyłącznika różnicowego z jednofazowymi transformatorkami prądowymi według Holmgreena

nia. W praktyce okazało się, że zupełnie wystarcza, jeżeli wyłącznik różnicowy powoduje wyłączenie chronionego odbiornika, gdy prąd płynący do ziemi wynosi co najmniej 30 do 50 mA *).

Do kontroli działania wyłącznika różnicowego podczas ruchu służy przycisk kontrolny (rys. 10), który po naciśnięciu powoduje połączenie dwóch faz wewnątrz wyłącznika za pośrednictwem opornika (2). Wywołana tym różnica

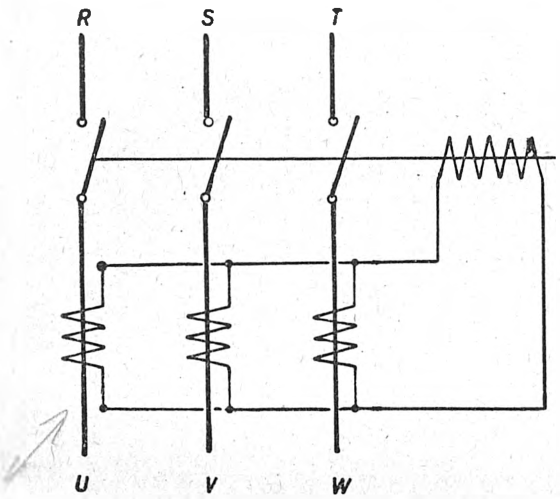
*) Schrank W. Die Differentialschutzschaltung. ETZ, 1944, z. 13/14, str. 109—113.

prądów w uzwojeniach powoduje przepływ strumienia magnetycznego i wyłączenie za pośrednictwem przekaźnika. Układ kontrolny włączony jest zazwyczaj tylko między dwa przewody; wystarcza to zupełnie do zbadania działania wyłącznika ochronnego gdyż uszkodzenia mogą występować raczej w części mechanicznej wyłącznika.

Gdy rdzeń pierścieniowy posiada cztery jednakowe cewki prądowe, można go stosować do odbiorników trójfazowych czteroprzewodowych np. dla znamionowego natężenia prądu 30 A, lub też można dwie cewki połączyć parami równolegle i stosować je do odbiorników jednofazowych o natężeniu prądu znamionowego do 60 A.

Wyłączniki różnicowe czterobiegunowe można stosować w sieciach trójfazowych zarówno czteroprzewodowych, jak i trójprzewodowych, przy czym rozkład obciążeń w poszczególnych fazach nie ma żadnego wpływu na działanie wyłącznika ochronnego.

Celem umieszczenia wyłącznika różnicowego w normalnych skrzynkach wyłącznikowych wyżej opisane typy zabezpieczeń różnicowych buduje się dla natężenia do



Rys. 12. Schemat wyłącznika różnicowego z jednym transformatorkiem pierścieniowym typu Ferrantiego

60 A prądu znamionowego odbiorników. Dla większych natężeń prądu stosuje się wyłączniki różnicowe z jednofazowymi transformatorkami prądowymi według układu Holmgreena (rys. 11). Stosowane w tym układzie transformatorki prądowe posiadać muszą ściśle te same charakterystyki, w przeciwnym bowiem razie prądy wyrównawcze, które powstałyby wewnątrz układu, powodowałyby mylne wyłączania.

W innym rozwiązaniu zamiast trzech transformatorków prądowych stosuje się jeden transformatorek pierścieniowy typu Ferrantiego (rys. 12). Transformatorek ten musi być tak założony, aby prąd zwarcia z ziemią nie przepływał przez powłoki ołowiane kabla lub płaszcze metalowe przewodów zasilających chroniony odbiornik.

Dotychczasowe doświadczenia z praktyki ruchowej oraz próby dokonane z wyłącznikami różnicowymi wykazują ich szeroki zakres zastosowania do ochrony zarówno przed porażeniem elektrycznym, jak i przed niebezpieczeństwem pożaru. Można je stosować z powodzeniem nawet w warunkach, w których dotychczasowe sposoby zabezpieczeń przy pomocy uziemienia lub zerowania oraz innych typów wyłączników ochronnych okazały się zawodne.

Zalety wyłączników różnicowych, jako ochrony przed porażeniami i pożarem w urządzeniach elektrycznych niskiego napięcia, streścić można w sposób następujący:

1) Działanie wyłączników różnicowych jest zależne od przepływu prądu zwarcia z ziemią. Jest to słuszna i racjonalna zasada ochrony, gdyż zarówno niebezpieczeństwo porażenia jak i pożaru zależy od wielkości natężenia prądu przepływającego w miejscu uszkodzenia izolacji do ziemi, a nie od wysokości napięcia.

2) Wyłączniki różnicowe nie wymagają żadnych dodatkowych przewodów do połączenia ich z chronionym odbiornikiem. Mogą być umieszczone zarówno na samym odbiorniku wraz z wyłącznikiem, bądź też w skrzynce wyłącznikowej w dowolnej odległości od odbiornika. Nadają się przeto zarówno do ochrony odbiorników stałych jak i ruchomych.

3) Ponieważ wyłącznik różnicowy działa na skutek przepływu prądu zwarcia do ziemi, kadłuby i osłony chronionych odbiorników muszą być połączone z ziemią bądź przez przewód uziemiający, bądź też przez bezpośrednie zetknięcie się odbiornika z ziemią lub innymi częściami uziemionymi (rys. 12). Wielkość oporu uziemienia może być nawet znaczna i dochodzi do kilkuset, a nawet 1000 omów. Ta zaleta wyłączników różnicowych jest szczególnie ważna w przypadkach, w których uzyskanie lub utrzymanie niskich wartości oporów uziemień ochronnych jest trudne, a nawet niemożliwe.

4) W przypadkach, gdy chroniony odbiornik nie jest uziemiony albo nawet jest izolowany względem ziemi, wyłącznik różnicowy działać będzie, gdy skutkiem uszkodzenia izolacji kadłub lub osłona odbiornika znajdą się pod napięciem, dotykający zaś stoi na uziemionej posadzce. Natężenie prądu zwarcia z ziemią powodujące wyłączenie musi być wówczas mniejsze aniżeli prąd, który mógłby spowodować porażenie dotykającego.

5) Wyłącznik różnicowy może również stanowić ochronę przed przypadkowym dotknięciem części znajdującej się normalnie pod napięciem. Ponieważ wyłączniki różnicowe mogą być tak budowane, że wyłączają, gdy natężenie prądu płynące do ziemi przekracza już 5 mA, przeto mogą one stanowić podobną ochronę przed porażeniem, jak np. dodatkowa izolacja miejsca pracy, obniżone napięcie poniżej 42 V, stosowane w pomieszczeniach, gdzie zachodzi szczególne niebezpieczeństwo porażenia.

6) Jako dodatkowa ochrona przed napięciem dotyku urządzeń uziemionych, wyłączniki różnicowe mogą wyłączać przy wyższym natężeniu prądu zwarcia z ziemią (50 do 80 mA). Zabezpieczenia różnicowe w skrzynkach przyłączeniowych niektórych wrębówek i ładowaczy amerykańskich dla kopalń węgla wyłączają dopiero, gdy prąd upływający do ziemi wynosi kilka procentów znamionowego natężenia prądu chronionego silnika elektrycznego. Czułość ta jest w tym przypadku zupełnie wystarczająca, gdyż powyższe urządzenia górnicze niezależnie od uziemienia ochronnego całym swym kadłubem stalowym stykają się z ziemią.

7) Wyłączniki różnicowe mogą chronić również urządzenia elektryczne przed pożarem na skutek uszkodzenia izolacji. Powstający w tym miejscu lokalny spływ prądu do ziemi powoduje wytwarzanie znacznej ilości ciepła, która może spowodować pożar, zwłaszcza gdy w sąsiedztwie znajdują się materiały łatwo palne. Prądy przepływające do ziemi mogą być przy tym tak nieznaczne, że nie spowodują działania zabezpieczeń nadmiarowych, stopek lub wyłączników samoczynnych*).

8) Wykonanie zabezpieczenia różnicowego w urządzeniach elektrycznych jest niezmiernie proste i polega na połączeniu odpowiednich zacisków wyłącznika z przewodami, na zbadaniu, czy sam wyłącznik ochronny oraz całe urządzenie działa prawidłowo, przez przyciśnięcie guzika kontrolnego na samym wyłączniku ochronnym, i wreszcie na wykonaniu próbnego zwarcia z kadłubem na chronionym odbiorniku.

Natomiast należy podkreślić, że wyłączniki różnicowe nie działają jako ochrona przed zwarciem międzyprzewodowym w chronionym odbiorniku i przewodach doprowadzających. Do tych celów należy stosować dotychczasowe zabezpieczenia nadmiarowe.

Jak z powyższego wynika, wyłączniki różnicowe stanowią bardzo poważny krok naprzód w dziedzinie ochrony przed porażeniem i pożarem w urządzeniach elektrycznych. Należałoby je stosować tam, gdzie uziemienia i zerowania ochronne nie dają wymaganego stopnia bezpieczeństwa przed porażeniem, szczególnie dla zabezpieczenia większych odbiorników ruchomych w górnictwie i rolnictwie, oraz innych odbiorników elektrycznych, gdzie dotychczasowe sposoby zabezpieczeń przed napięciem dotyku okazały się niewystarczające.

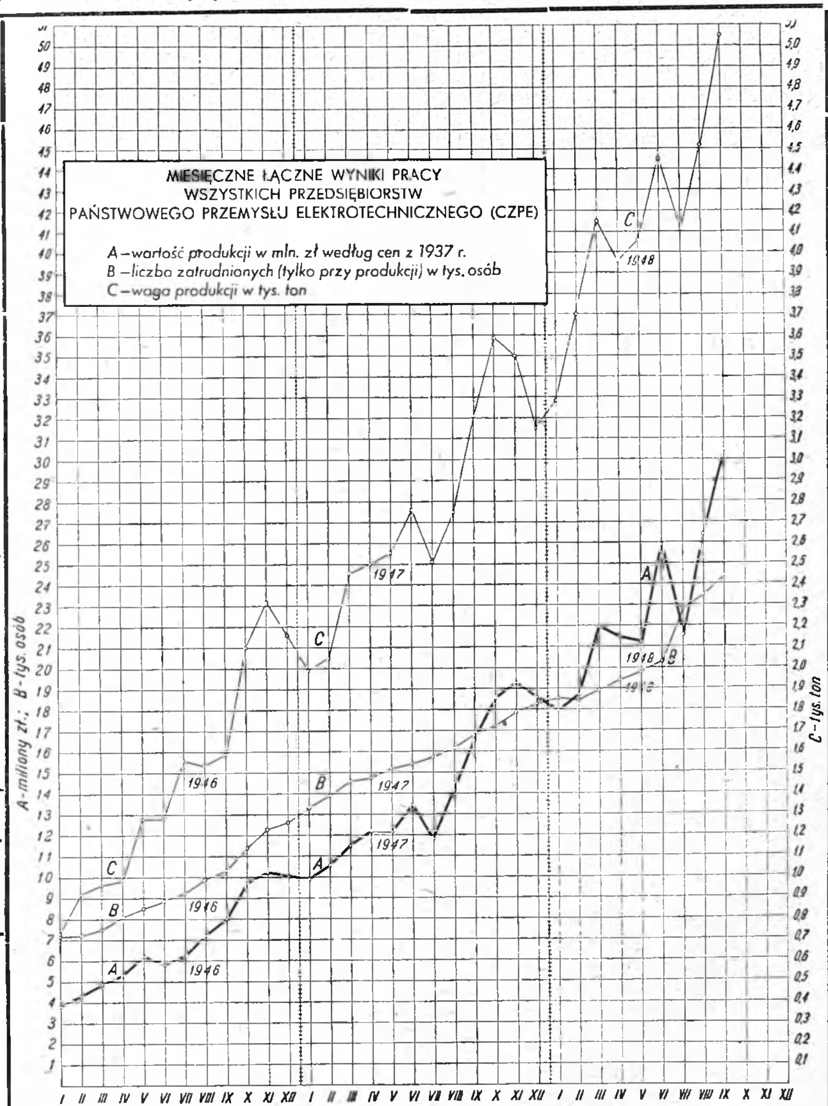
*) Schnell P. Differentialschutzschaltung und Lebens- und Brandgefahren in Dreh- und Wechselstromanlagen. ETZ, 1943, z. 9/10, str. 119—123.

CENTRALNY ZARZĄD PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO

STATYSTYKA PRZEMYSŁU ELEKTROTECHNICZNEGO

Sierpień-wrzesień 1948 r. i porównanie pierwszych 9 miesięcy 1947 i 1948 r.

Przemysł	Liczba zakładów prod.	Liczba zatrudnionych: przy produkcji: fizyczn.	umysł.	razem	przy odbud. inwest. i inn. nieprodukc.	uczniów	ogółem	Produkcja: waga w t	wartość produkcji w tys. zł wg cen 1937 r.	1948 r.
Sierpień										
Maszyn elektrycznych	14	4 024	927	4 951	1 552	681	7 184	610,1	4 395	282 524
Aparatów elektrycznych	15	5 135	1 368	6 503	612	351	7 466	494,4	4 202	272 891
Kabli i przewodów	6	3 740	721	4 461	470	137	5 068	2 510,5	9 168	521 103
Akumulatorów i ogniw	8	1 243	234	1 477	108	25	1 610	757,4	2 265	125 415
Lamp elektrycznych	4	1 284	305	1 589	280	2	1 871	55,7	3 376	101 629
Telekomunikacyjny	10	3 191	1 292	4 483	388	249	5 120	93,6	2 955	192 466
Razem	57	18 617	4 847	23 464	3 410	1 445	28 319	4 521,7	26 361	1 496 028
Wrzesień										
Maszyn elektrycznych	14	4 275	931	5 206	1 514	955	7 675	608,4	4 620	300 957
Aparatów elektrycznych	15	5 247	1 452	6 699	585	498	7 782	465,3	4 623	287 816
Kabli i przewodów	6	4 004	738	4 742	414	186	5 342	2 846,0	9 923	562 297
Akumulatorów i ogniw	8	1 257	242	1 499	90	25	1 614	943,2	2 681	144 546
Lamp elektrycznych	4	1 351	295	1 646	259	—	1 905	71,5	4 429	134 318
Telekomunikacyjny	10	3 267	1 332	4 599	411	269	5 279	116,4	4 206	280 549
Razem	57	19 401	4 990	24 391	3 273	1 933	29 597	5 050,8	30 482	1 710 483
Okres styczeń-wrzesień		średnia miesięczna liczba						suma za 9 miesięcy		
Maszyn elektrycznych	14	3 682	848	4 530	1 316	765	6 611	4 469,7	33 260	2 098 552
Aparatów elektrycznych	15	4 530	1 266	5 796	622	388	6 806	3 471,4	31 774	1 988 409
Kabli i przewodów	6	3 641	686	4 327	416	142	4 885	20 767,1	71 591	3 712 857
Akumulatorów i ogniw	8	1 226	243	1 469	134	28	1 631	7 144,4	19 483	976 447
Lamp elektrycznych	3	1 090	233	1 323	188	—	1 511	410,7	24 802	738 817
Telekomunikacyjny	11	1 886	647	2 533	342	108	2 983	993,7	23 133	1 342 358
Razem	57	16 055	3 923	19 978	3 018	1 431	24 427	37 257,0	204 043	10 857 440



Uwaga 1. Podane w tablicy dla przemysłu „lamp elektrycznych" wagi zawierają następujące ilości żarówek: sierpień 1604 tys. szt., wrzesień 2063 tys. szt., okres styczeń — wrzesień 12,56 mln. sztuk.

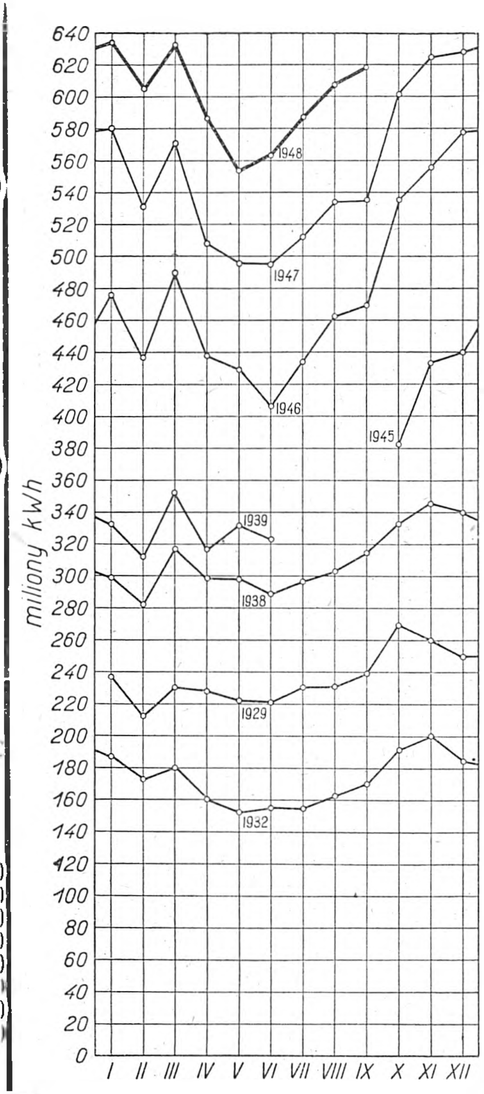
Uwaga 2. Przemysł telekomunikacyjny obejmuje Zjednoczenia — Teletechniczne i Radiotechniczne oraz PZT i R.

C. Z. E.

STATYSTYKA ELEKTRYCZNA

Elektrownie o mocy zainstalowanej ponad 1 MW (ok. 97% całkowitej wytwórczości)

Miesiące 1948 r.		Styczeń	Luty	Marzec	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Styczeń-Wrzesień
Razem I + II											
Liczba zakładów		235	235	235	235	235	235	235	235	235	
Moc zainstalowana	MW	2 449,2	2 449,2	2 449,2	2 448,4	2 450,0	2 452,4	2 472,1	2 473,5	2 464,2	
„ osiągalna	„	1 728,6	1 731,4	1 729,9	1 725,9	1 729,7	1 735,4	1 705,0	1 702,0	1 729,3	
„ rozporządzalna	„	1 438,1	1 430,0	1 446,5	1 405,9	1 404,1	1 377,5	1 3[illegible]8,2	1 393,0	1 446,3	
Obciążenie szczytowe	„	1 321	1 329	1 323,6	1 265	1 245	1 233	1 235	1 275	1 347	
Wytwórczość	MWh	634 303	606 245	632 908	587 300	553 745	562 295	587 028	607 561	617 958	5 389 343 (100%)
Wzrost wytwórczości w stosunku do tego samego okresu w 1947 r.	%	+ 8,5	+ 13,1	+ 10,2	+ 14,6	+ 11,2	+ 13,0	+ 13,7	+ 12,5	+ 14,5	+ 12,3
Liczba pracowników w elektrowniach (wytwórniach)		19 175	19 187	19 051	18 775	18 337	18 055	17 775	17 953	18 112	
I. Elektrownie zawodowe											
Liczba zakładów		95	95	95	95	95	95	95	95	95	
Moc zainstalowana	MW	1 303,7	1 303,7	1 303,7	1 302,9	1 304,5	1 304,4	1 304.5	1 304,1	1 313,2	
„ osiągalna	„	1 002,0	1 010,2	1 005,1	1 009,2	1 003,8	1 004,6	966,8	953,7	987,2	
„ rozporządzalna	„	852,6	848,1	855,6	847,5	822,9	809,5	795,1	815,0	859,0	
Obciążenie szczytowe	„	827	845	819	794	780	762	759	798	834	
Wytwórczość	MWh	391 478	373 816	376 520	351 816	331 734	321 856	340 872	360 295	359 841	3 208 228 (59,5%)
Wzrost wytwórczości w stosunku do tego samego okresu w 1947 r.	%	+ 7,1	+ 10,7	+ 3,8	+ 11,7	+ 12,3	+ 11,0	+ 13.5	+ 13,0	+ 11,9	+ 10,4
Liczba pracowników w elektrowniach (wytwórniach)		12 470	12 481	12 342	12 095	11 690	11 534	11 228	11 478	11 573	
II. Elektrownie niezawodowe											
Liczba zakładów		140	140	140	140	140	140	140	140	140	
Moc zainstalowana	MW	1 145,5	1 145,5	1 145,5	1 145,5	1 145,5	1 148,0	1 167,6	1 169,4	1 151,0	
„ osiągalna	„	726,6	721,2	724,8	716,7	725.9	730,8	738,2	748,3	742,1	
„ rozporządzalna	„	585,5	581,9	590,9	558,4	581,2	568,0	573,1	578,0	587,3	
Obciążenie szczytowe	„	494	484	507,6	471	465	474	476	477	513	
Wytwórczość	MWh	242 825	232 429	256 388	235 484	222 011	240 439	246 156	247 266	258 117	2 181 115 (40,5%)
Wzrost wytwórczości w stosunku do tego samego okresu w 1947 r.	%	+ 10,9	+ 17,0	+ 21,2	+ 19,2	+ 9,4	+ 15,8	+ 14,2	+ 11,8	+ 18,3	+ 15,3
Podział wytwórczości:											
Kopalnie węgla	MWh	126 937	120 178	136 337	118 823	115 544	125 171	133 632	128 193	133 282	1 138 097 (21,1%)
Huty	„	24 495	22 543	24 616	24 045	21 784	21 857	21 182	22 314	24 269	207 105 (3,8%)
Fabryki chemiczne	„	38 771	38 283	38 899	39 168	35 269	39 083	38 276	42 443	44 299	354 491 (6,6%)
Fabryki włókiennicze	„	21 835	19 982	22 678	21 359	18 024	20 616	19 711	20 366	21 970	186 541 (3,5%)
Cukrownie	„	1 835	1 374	1 064	341	294	312	260	269	327	6 076 (0,1%)
Papiernie	„	17 057	15 769	15 605	15 371	13 858	16 232	15 638	16 121	15 715	141 396 (2,[illegible]%)
Cementownie	„	7 480	10 062	12 934	12 546	13 273	13 539	14 027	13 826	13 721	111 408 (2,1%)
Inne zakłady przemysłowe	„	4 415	4 238	4 255	3 831	3 965	3 599	3 430	3 734	4 534	36 001 (0,7%)
Liczba pracowników w elektrowniach (wytwórniach)		6 705	6 706	6 709	6 680	6 647	6 521	6 547	6 475	6 539	



OBJAŚNIENIA

Mocą zainstalowaną elektrowni jest suma mocy zainstalowanych wszystkich turbozespołów i innych zespołów prądotwórczych z wyjątkiem tych, które nie nadają się do kapitalnego remontu lub odbudowy, przy czym przez moc zainstalowaną turbozespołu należy rozumieć moc maksymalną, którą dany turbozespół zdolny był wytwarzać w sposób ciągły w chwili oddania go do eksploatacji i w warunkach pracy, dla których był przewidziany.

Mocą osiągalną elektrowni jest moc osiągalna tego zespołu urządzeń podobnych (np. maszynowni, kotłowni), który w łańcuchu procesu przetwórczego stanowi najwęższy przekrój, przy czym mocą osiągalną maszynowni (czy kotłowni) jest suma mocy osiągalnych wszystkich turbozespołów i innych zespołów prądotwórczych (czy kotłów) z wyjątkiem tych, które nie nadają się do kapitalnego remontu lub odbudowy, a przez moc osiągalną turbozespołu (czy kotła) należy rozumieć moc maksymalną, którą dany turbozespół (czy kocioł) zdolny jest osiągnąć w sposób ciągły w przeciętnych warunkach eksploatacyjnych, jak stwierdzono przy ostatnim zaprotokółowanym pomiarze technicznym urządzenia.

Mocą rozporządzalną elektrowni jest moc rozporządzalna tego zespołu urządzeń podobnych (np. maszynowni, kotłowni), który w łańcuchu procesu przetwórczego stanowi najwęższy przekrój, przy czym przez moc rozporządzalną maszynowni (czy kotłowni) należy rozumieć sumę mocy osiągalnych zespołów prądotwórczych (czy kotłów) czynnych i nieczynnych, lecz gotowych w każdej chwili do pracy.

U w a g a. W statystyce podano najwyższe liczby mocy (zainstalowanej, osiągalnej lub rozporządzalnej), występujące w danym miesiącu.

Jako **szczytowe obciążenie** przyjęto najwyższe 15-minutowe obciążenie, występujące w miesiącu sprawozdawczym i stwierdzone na podstawie wskazań aparatów samopiszących lub odczytów liczników na generatorach.

DR INŻ. PAWEŁ JAN NOWACKI

Metoda wykreślna obliczania rozdziału obciążeń pomiędzy elektrowniami cieplnymi i wodnymi

Treść. Podana jest metoda obliczania racjonalnego podziału obciążeń między elektrownie cieplne i wodne przy pomocy krzywej całkowej obciążenia. Przykłady elektrowni wodnych podstawowych, szczytowych i pompowych.

Графический метод распределения нагрузки между тепловыми и гидравлическими электростанциями. Дается метод правильного распределения нагрузки между тепловыми и гидравлическими установками при помощи интегральной кривой нагрузки. Случаи гидроэлектрических станций для основной и пиковой нагрузки и при применении насосных гидравлических аккумуляторов.

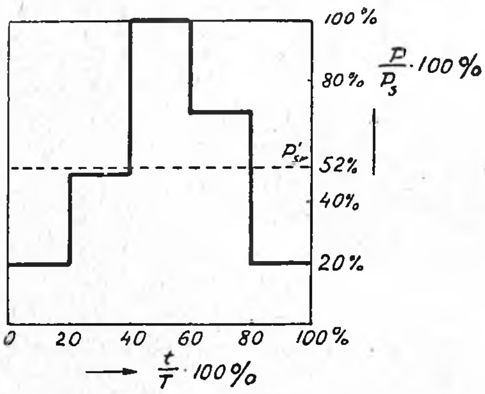
Graphical Method of Computing Allocation of Load Between Thermal and Hydro-Electric Generating Stations. The article quotes a method of computing rational allocation of load between thermal and hydro-electric plants by means of an integral curve of load. Examples of hydro-electric basic, peak and pumped-storage plants.

Méthode graphique de calcul de la répartition des charges entre centrales électriques thermiques et hydrauliques. L'auteur propose une méthode de calcul de la répartition rationnelle des charges entre centrales électriques thermiques et hydrauliques à l'aide de la courbe intégrale de la charge. Exemples de centrales électriques hydrauliques de base, de pointe et de pompage.

1. Wstęp.

Poniżej podana jest metoda obliczania rozdziału obciążeń pomiędzy elektrowniami cieplnymi i wodnymi, zastosowana przez autora przy rozwiązywaniu pewnych zagadnień gospodarki energetycznej. Metoda posługuje się krzywą całkową obciążenia, zbudowaną na podstawie wykresu obciążenia.

Na rys. 1 podany jest idealizowany wykres obciążenia okręgu energetycznego dla pewnego okresu T (np. doby,



Rys. 1. Wykres obciążenia dobowego

tygodnia, miesiąca lub roku). Odcięte t podane są tu w procentach okresu T, rzędne P w procentach mocy szczytowej P_s. Wykres taki sporządza się na podstawie statystyk z ruchu, lub (w wypadku projektowania) na podstawie prawdopodobnych danych, np. według typowych krzywych, które łatwo znaleźć w podręcznikach gospodarki elektrycznej *).

Powierzchnia ograniczona krzywą czyli

$$A = \int_0^T P . \mathrm{d}t \qquad (1)$$

przedstawia całkowitą energię zapotrzebowaną przez wszystkich odbiorców (z ewentualnym dodatkiem strat w sieci itp.).

Energię A można przedstawić jako prostokąt o podstawie T i wysokości $P_{śr}$ (moc średnia dla danego okresu T), a więc

$$A = P_{śr} \cdot T \qquad (2)$$

Oczywiście, moc średnia stanowi tylko ułamek mocy szczytowej P_s.

Stosunek

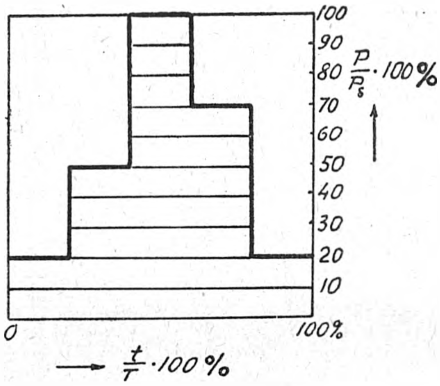
$$\eta = \frac{P_{śr}}{P_s} = \frac{P_{śr} \cdot T}{P_s \cdot T} = \frac{A}{A_s} \qquad (3)$$

czyli stosunek pracy rzeczywiście wykonanej (lub przewidywanej w projekcie) do pracy największej możliwej, gdyby pobór mocy był przez cały okres T równy P_s, nazywa się spółczynnikiem obciążenia.

*) M. Altenberg. Gospodarka elektryczna.
F. Sanford. Electric Distribution Fundamentals.

2. Budowa krzywej całkowej obciążenia.

Podzielimy teraz wykres obciążenia z rys. 1 na paski poziome (rys. 2) i obliczymy powierzchnię każdego paska (np. w cm²) zakładając, że 10% wynosi w przyjętej skali



Rys. 2. Obliczanie krzywej całkowej obciążenia

np. 1 cm. Możemy, mając powierzchnię każdego paska z osobna, ułożyć tablicę, w której obliczymy powierzchnię, zakreśloną przez wykres i liczoną od podstawy, czyli pracę (w procentach całkowitej energii) w zależności od obciążenia (w procentach mocy szczytowej). Tabl. I poda-

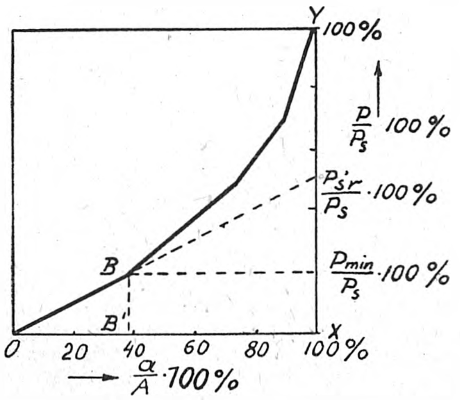
Tablica I

$\frac{P}{P_s}$	a (cm²)	$100 \frac{a}{A}$ %
0,1	10	19,2 %
0,2	20	38,4 „
0 3	26	50,0 „
0,4	32	61,5 „
0,5	38	73,1 „
0.6	42	80.5 „
0,7	46	88,46 „
0,8	48	92,3 „
0,9	50	96,1 „
1,0	52 = A	100,0 „

je takie obliczenie dla naszego przykładu z rys. 2, na którym dla uproszczenia podano czas w % okresu T, a moc w % mocy szczytowej P_s. W pierwszej kolumnie tabeli podano stosunek mocy $\frac{P}{P_s}$, w drugiej kolumnie powierzchnię od podstawy w cm². Kolumna trzecia daje pracę w procentach energii całkowitej $\frac{a}{A} \cdot 100\%$).

Na podstawie liczb tabl. I można wykreślić (rys. 3) krzywą całkową obciążenia $\frac{P}{P_s} = f\left(\frac{a}{A}\right)$. Krzywa całkowa obciążenia składa się w naszym przykładzie z odcinków prostych, ponieważ zmiana krzywej obciążeń (rys. 1) ma kształt schodków prostokątnych.

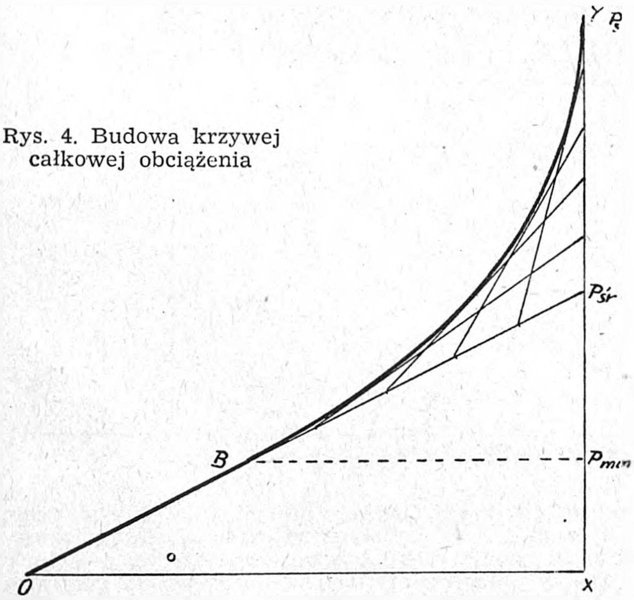
W ogólnym wypadku rzeczywistym krzywa całkowa obciążeń składać się będzie z odcinka linii prostej od $\frac{P}{P_s} = 0$ do $\frac{P_{min}}{P_s}$ oraz z krzywej (zbliżonej do paraboli) od $\frac{P_{min}}{P_s}$ do punktu obciążenia szczytowego $\frac{P_s}{P_s} = 1$, gdzie P_{min} oznacza najmniejsze obciążenie w okresie rozważanym. Na rys. 3 punkt B oznacza obciążenie najmniejsze $\frac{P_{min}}{P_s}$; wynosi ono 20% mocy szczytowej w naszym przykładzie, energia zaś wytworzona przy obciążeniu P_{min}



Rys. 3. Krzywa całkowa obciążenia

wynosi $\frac{a}{A} \cdot 100\% = 38{,}4\%$ (ob. tabl. I). Przedłużając prostą OB (rys. 3) aż do przecięcia się z rzędną mocy procentowych otrzymamy punkt, odpowiadający mocy średniej $\frac{P_{śr}}{P_s} \cdot 100\%$.

Z powyższych rozważan wynika, że do zbudowania krzywej całkowej obciążenia potrzebne są następujące dane: 1) moc szczytowa P_s, 2) moc najmniejsza P_{min},



Rys. 4. Budowa krzywej całkowej obciążenia

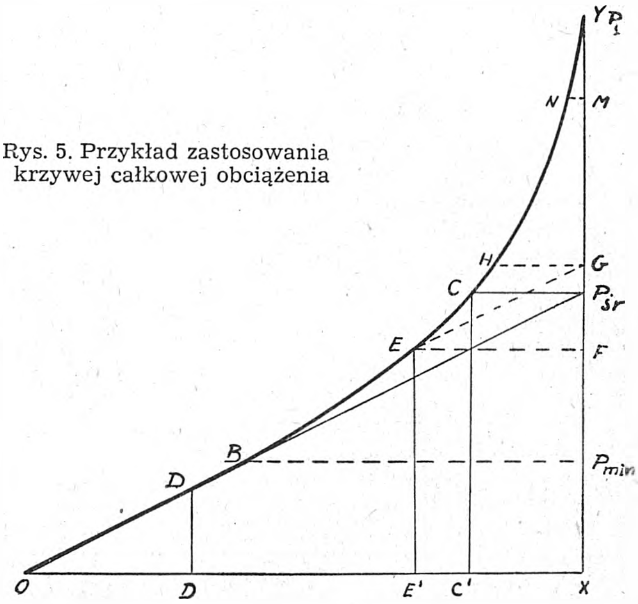
3) praca z całego okresu A, 4) okres pracy T.

P r z y k ł a d. Niech będą dane: $P_s = 10\,000$ kW, $P_{min} = 2\,000$ kW, $A = 120\,000$ kWh, $T = 24$ h. Obliczamy $P_{śr} = \frac{A}{T} = \frac{120\,000}{24} = 5\,000$ kW.

Rys. 4 podaje konstrukcję krzywej całkowej obciążenia dla tego przykładu. W układzie prostokątnym (x, y) odkładamy OX równe 100% pracy A oraz XY równe 100% mocy szczytowej P_s. Od X odkładamy w górę $XP_{śr} = \frac{P_{śr}}{P_s} \cdot 100$ i łączymy punkt O z punktem $P_{śr}$. Następnie odmierzamy na XY od X wartość $\frac{P_{min}}{P_s} \cdot 100$ i otrzymujemy w ten sposób punkt P_{min}. Z tego punktu kreślimy równoległą do OX aż do przecięcia się jej z prostą $OP_{śr}$ w punkcie B. Wreszcie kreślimy parabolę styczną w punktach B i P_s do prostych $OP_{śr}$ i XY. Konstrukcja graficzna tej paraboli podana jest również na rys. 4.

3. Podział obciążeń między elektrownie cieplne i wodne.

Mając krzywą całkową obciążeń dla okręgu, w którym znajdują się elektrownie cieplne i wodne, możemy przystąpić do ustalenia rozdziału obciążeń pomiędzy tymi elektrowniami. Metodę postępowania objaśnimy na rys. 5 dla powyższego przykładu.



Rys. 5. Przykład zastosowania krzywej całkowej obciążenia

a) Przypuśćmy na razie, że c a ł a e n e r g i a A z naszego przykładu może być dostarczona p r z e z e l e k t r o w n i e w o d n e. Gdyby obciążenie było stałe przez całą dobę, wówczas do wykonania wymaganej pracy $A = 120\,000$ kWh potrzeba stałej mocy średniej $P_{śr} = 5\,000$ kW. W rzeczywistości jednak turbiny wodne muszą pokryć moc szczytową $P_s = 10\,000$ kW. Załóżmy, że mamy elektrownie przepływowe, zdolne do dostarczania potrzebnej energii A. Jasne jest, że zakłady wodne, ażeby pokryć zmienne zapotrzebowanie mocy w ciągu doby, muszą posiadać zbiorniki, zatrzymujące wodę niepotrzebną w godzinach mniejszego obciążenia i uwalniające ją w czasie szczytów.

Do obliczenia energii, która powinna być w naszym przykładzie zatrzymana w zbiorniku w ciągu doby, przeprowadzamy z punktu $P_{śr}$ równoległą do osi OX aż do przecięcia się z krzywą całkową obciążenia w punkcie C. Jeżeli punkt C' jest rzutem punktu C na oś OX, to odcinek OC' przedstawia 80% pracy całkowitej i tyle tylko energii dostarczyłyby zakłady wodne, które nie posiadałyby zbiorników gromadzących wodę. Odcinek $CP_{śr} = C'X$, przedstawiający 20% pracy całkowitej, określa nam potrzebne nagromadzenie energii w zbiorniku, gdyby elektrownie wodne miały pokryć zmienne obciążenie założone w przykładzie. Innymi słowy z krzywej całkowej wynika, że 80% pracy potrzebnej wykonywa się przy obciążeniach poniżej $P_{śr}$, a 20% przy obciążeniach większych od $P_{śr}$, lecz mniejszych od mocy szczytowej P_s. Oczywiście, w naszym przykładzie potrzebne nagromadzenie wody w zbiorniku wynika także z wykresu obciążeń po obliczeniu pól „nadmiaru" i „niedoboru" energii (rys. 1).

Przykład podany tutaj zdarza się w praktyce bardzo rzadko. W warunkach polskich zapotrzebowanie okręgu energetycznego będzie pokrywane przeważnie przez elektrownie cieplne, elektrownie zaś wodne pokryją resztę

obciążenia. Powstaje zatem pytanie, jak najlepiej rozdzielić obciążenia pomiędzy te dwa rodzaje siłowni.

b) Załóżmy w poprzednim przykładzie, że zdolność wytwórcza zakładów wodnych wynosi 30% całkowitej potrzebnej pracy A = 120 000 kWh. Załóżmy dalej, że elektrownie te są przepływowe i mają pracować na obciążenie podstawowe.

Postępowanie jest następujące: na osi OX odmierzamy odcinek OD = 30% i w punkcie tym wykreślamy rzędną DD'; znaleźliśmy, że elektrownie wodne dostarczają 30% energii podstawowej przy obciążeniu DD' = 15% obciążenia szczytowego P_s. Reszta pracy czyli 70%, jak również 85% mocy szczytowej pokrywają elektrownie cieplne. Zakłady wodne w tym założeniu nie potrzebują mieć zbiorników gromadzących wodę.

c) Z kolei załóżmy, że elektrownie wodne mają pokryć szczyty obciążenia, posiadające zdolność wytwórczą równą 30% potrzebnej energii A.

Energia wody wynosi zatem w naszym przykładzie: $A_w = 0{,}3\ A = 0{,}3 \cdot 0{,}5\ P_s \cdot T$ albo $A_w = P_{śrw} \cdot T$. Stąd otrzymamy tzw. średnią moc wody:

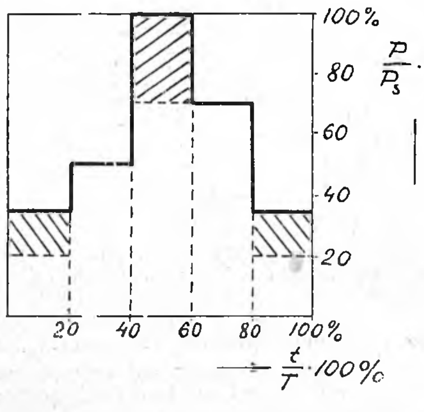
$$P_{śrw} = 0{,}3 \cdot 0{,}5\, P_s = 0{,}15\, P_s\,.$$

Teraz odmierzamy na osi odciętych odcinek $E'X$ = 0.3 A i kreślimy rzędną $E'E$ całkowej krzywej obciążenia. Następnie kreślimy równoległą do osi odciętych z punktu E aż do przecięcia się z osią rzędnych w punkcie F. W punkcie F odmierzamy dodatnią rzędną FG = 0,15 P i otrzymujemy w ten sposób punkt G. (Punkt G można także otrzymać bez obliczania $P_{śrw}$, kreśląc równoległą z punktu E do prostej $OP_{śr}$ aż do przecięcia się z osią XY). Wreszcie kreślimy z punktu G równoległą do osi OX aż do przecięcia się z krzywą całkową obciążenia w punkcie H.

Otrzymujemy drogą wykreślną następujący wynik: elektrownie wodne pracujące na szczytowe obciążenie pokrywają obciążenie FP_s = 60% mocy szczytowej, tj. od 40% do 100% mocy szczytowej przy nagromadzeniu w zbiorniku HG = 15% dobowego zapotrzebowania energii A.

Gdyby elektrownie wodne były przepływowe i nie posiadały zbiorników zatrzymujących wodę, mogłyby one pracować tylko dla mocy $P_{śrw}$ = 15% mocy szczytowej (odcinek MP_s), dając tylko około 2% energii całkowitej (odcinek MN); reszta wody niezużytej, tj. 28% energii całkowitej A, przelewałaby się przez jaz.

Gdy mamy do czynienia z zakładami wodnymi do pokrywania szczytów, to analiza jest zupełnie prosta i nie



Rys. 6. Wykres obciążenia dobowego w przypadku współpracy elektrowni cieplnych z zakładem szczytowym pompowym

wymaga specjalnych objaśnień. Odmierzamy bowiem (rys. 5) od mocy szczytowej P_s odcinek $P_s\ M$, przedstawiający moc szczytową zakładu, a odcinek MN daje pracę możliwą.

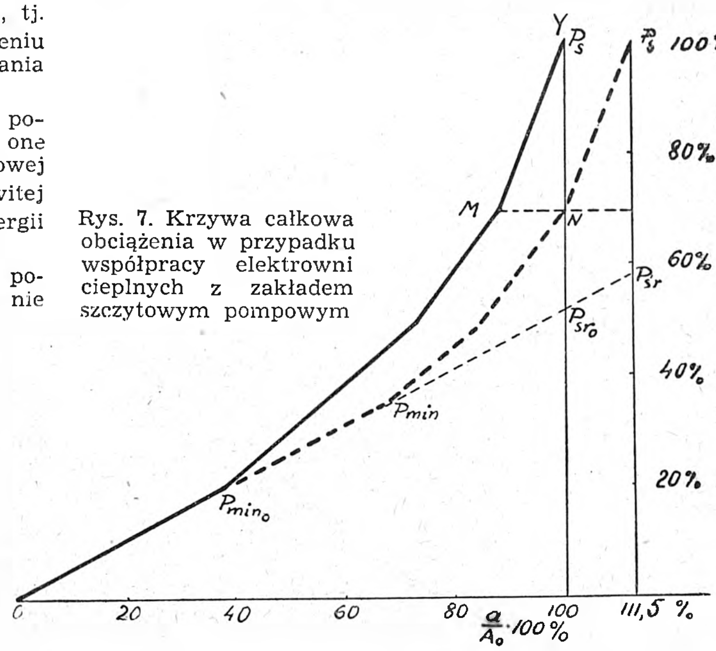
d) Osobnego omówienia wymaga przypadek zakładów szczytowych pompowych, w których pompujemy wodę w okresie małego obciążenia do zbiornika, a następnie przetwarzamy energię wodną w czasie szczytu na energię elektryczną.

Do objaśnienia metody postępowania skorzystamy z przykładu pierwszego (rys. 1 i 2 oraz tabl. I). Przypuśćmy, że mamy krzywą obciążenia z tabl. I i rys. 2 i że chcemy pokryć 30% mocy szczytowej z zakładu pompowego. Praca, którą daje zakład wodny w czasie szczytu, odpowiada powierzchni 6 cm², czyli 11,54% pracy całkowitej A. Te 11,54% (pomijamy straty pompowania) muszą pokryć

Tablica II

$\frac{P}{P_s}$	a (cm²)	$100\ \frac{a}{A}$ %	$100\ \frac{a}{A_o}$ %
0,1	10	17,2 %	19,2 %
0,2	20	34,5 „	38,5 „
0,3	30	51,7 „	57,7 „
0,35	35	60,4 „	67,4 „
0,4	38	65,5 „	73,0 „
0,5	44	75,9 „	84,6 „
0,6	48	82,8 „	92,3 „
0,7	52 = A_o	89,7 „	100,0 „
0,8	54	93,2 „	104,0 „
0,9	56	96,6 „	107,0 „
1,0	58 = A	100,0 „	111,5 „

elektrownie cieplne w porze małego obciążenia, a więc krzywa obciążenia z rys. 2 zmieni się na krzywą obciążenia podaną na rys 6. Na podstawie nowej krzywej obciążenia obliczamy tablicę II. Ostatnia kolumna tabl. II podaje dla każdego procentowego obciążenia $\frac{P}{P_s} \cdot 100\%$ ogólne zapotrzebowanie energii w procentach wytworzonej energii cieplnej. Liczby tabl. I i II są pokazane wykreślnie na rys. 7. Wynika z niego, że nowa krzywa całkowa obciążenia w górnej swej części jest przesunięta



Rys. 7. Krzywa całkowa obciążenia w przypadku współpracy elektrowni cieplnych z zakładem szczytowym pompowym

w prawo o 11,5% w stosunku do pierwotnej krzywej całkowej z tabl. I. W ogólnym wypadku wystarczy zatem przesunąć część paraboliczną krzywej całkowej o odcinek MN równy pracy dostarczonej w czasie szczytu przez zakład pompowy. Punkt przecięcia się nowej paraboli z prostą $OP_{śr}$ daje nowe najmniejsze obciążenie.

W naszym przykładzie zatem bez zakładu pompowego elektrownie cieplne mają najmniejsze obciążenie P_{min} = = 20% obciążenia szczytowego i muszą pokryć szczyt (P_s) przy stosunku $\frac{P_s}{P_{min}} = 5$. Spółczynnik obciążenia wynosi wtedy 52%. Jeśli natomiast pracuje zakład pompowy na pokrycie 30% szczytu, elektrownie cieplne mają najmniejsze obciążenie równe 35% wymaganego szczytu

i największe obciążenie wynoszące tylko 70% szczytu, stosunek więc $\frac{P_s}{P_{min}}$ wynosi tylko 2, a spółczynnik obciążenia elektrowni cieplnych wynosi w tym wypadku $\frac{52}{0,7}$ % czyli 74,3%.

4. Zależność wzajemna krzywej całkowej obciążeń od wykresu uporządkowanych obciążeń.

Często w praktyce zdarza się, że dany jest wykres uporządkowanych obciążeń w zależności od czasu. Na rys. 8 a podano idealizowany przykład takiego wykresu. Krzywą całkową obciążeń $P = f(A)$ sporzadzamy wówczas w prosty sposób, wychodząc z równania:

$$A = \int_{P=0}^{P=P_{max}} t \cdot dP \tag{4}$$

W ten sposób dla naszego przykładu z rys. 8 a otrzymujemy rys. 8 b.

Na odwrót, mając krzywą całkową obciążenia z rys. 8 b, można znaleźć przynależny do niej wykres uporządkowanych obciążeń, z równania (4) wynika bowiem

$$t = \frac{dA}{dP} = \text{w przybliż.} \frac{\Delta A}{\Delta P} \tag{5}$$

$tg\beta$ (rys. 8b) określa zatem w pewnej skali odrazu odciętą t dla wykresu uporządkowanych obciążeń.

Jeśli operujemy wykresami wielkości procentowych, wówczas obliczamy czas $\frac{t}{T}$ z równania:

$$\frac{t}{T} = \frac{dA \cdot P_{śr}}{dP \cdot A} = \frac{\frac{dA}{A}}{\frac{dP}{P_{max}}} \cdot \frac{P_{śr}}{P_{max}} \tag{6}$$

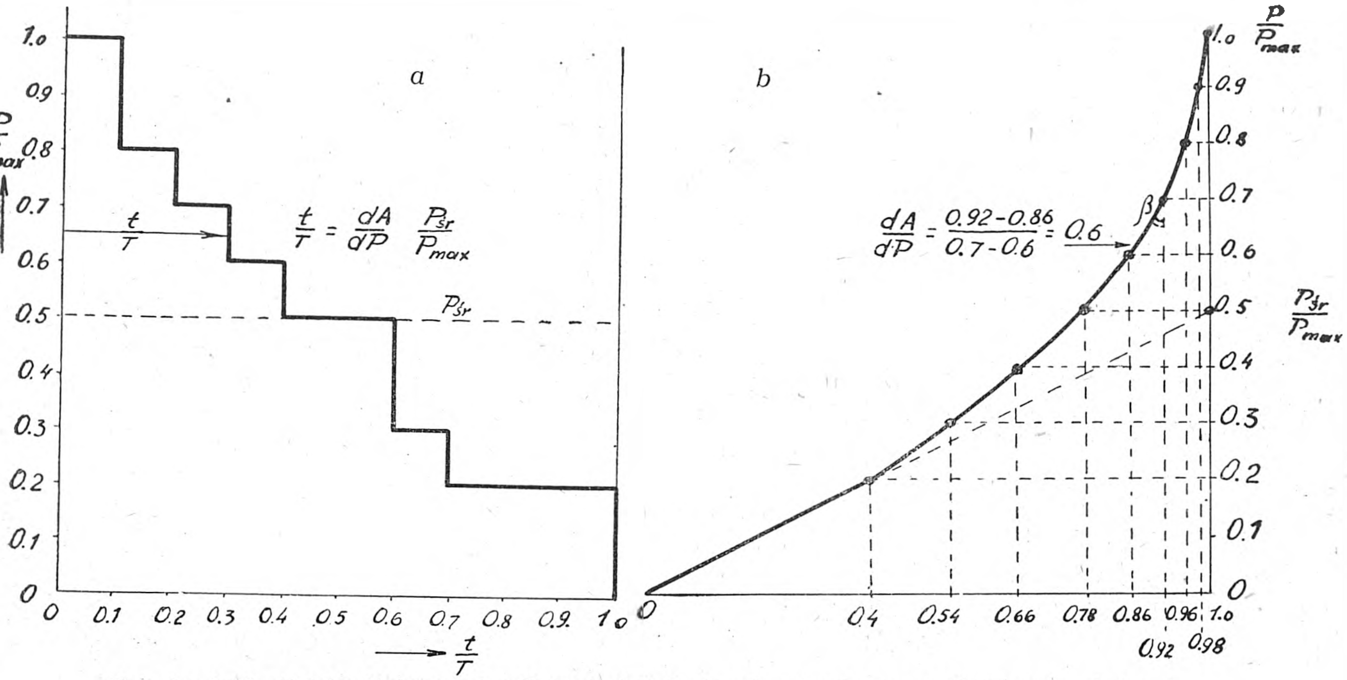
Tak np. z rys. 8 b wynika dla $\frac{P}{P_{max}} = 0,65$

$$\Delta A = 0,06, \ \Delta P = 0,1 \text{ oraz } \frac{P_{śr}}{P_{max}} = 0,5$$

$$\frac{t}{T} = \frac{0,06}{0,10} \cdot 0,5 = 0,3.$$

W ten sposób otrzymujemy odciętą $\frac{t}{T} = 0,3$ dla rzędnej $\frac{P}{P_{max}} = 0,65$ w wykresie uporządkowanych obciążeń.

W ogólnym przypadku danej krzywej całkowej należy używać stycznych do tej krzywej w odpowiednim punkcie krzywej.



Rys. 8 a i 8 b. Zależność krzywej całkowej obciążenia od wykresu uporządkowanych obciążeń

INŻ. WŁADYSŁAW NEY

Poglądy na wybór parametrów pary wielkich nowoczesnych elektrowni (kondensacyjnych)

Treść. Korzyści podwyższania parametrów parowych z termodynamicznego punktu widzenia. Zależność obliczeń teoretycznych od doskonałości tablic pary wodnej. Wpływ przegrzewu międzystopniowego pary na sprawność ogólną obiegu. Wpływ wilgotności pary w części niskoprężnej turbiny i wielkości strumienia pary na sprawność turbiny. Warunki wytrzymałościowe stawiane materiałom konstrukcyjnym w wysokich temperaturach i ciśnieniach. Zjawisko płynięcia metalu. Charakterystyki nowych stopów amerykańskich wytrzymałych na wysoką temperaturę. Gospodarcza strona zagadnienia, zależność kosztów zakładowych od sprawności ogólnej elektrowni oraz od postępu techniki. Normalizacja parametrów parowych w USA, ZSRR, Francji, Belgii, Anglii, Czechosłowacji oraz w Polsce. Wnioski.

Выбор параметров пара для больших современных электростанций (конденсационных). Выгоды от повышения параметров пара с термодинамической точки зрения. Зависимость теоретических подсчетов от точности таблиц для водяного пара. Влияние промежуточного перегрева пара на общий коэффициент полезного действия цикла. Зависимость к. п. д. тюрбины от влажности пара в части низкого давления тюрбины и от величины струи пара. Требования в отношении свойств конструкционных материалов в случае применения высокой температуры и высокого давления. Явление „ползучести" металла. Характеристика новых американских сплавов, выдерживающих высокую температуру. Экономическая сторона вопроса; зависимость первоначальных затрат от общего к. п. д. электростанции и от прогресса техники. Стандартизация параметров пара в США и СССР, во Франции, в Бельгии, Великобритании, Чехословакии и Польше. Заключительные выводы.

Opinion on the Selection of Parameters of Steam in Large Modern Electric Generating Plants (Condenser Type). Advantages of increasing steam parameters from the thermodynamic point of view. Contingence of theoretical computations on the accuracy of

steam tables. Influence of resuperheating on the total efficiency of the cycle. Influence of steam moisture at the low pressure side of the turbine and of the size of the steam jet on turbine efficiency. Requirements as to the resistance of constructional materials for high temperatures and pressures. The phenomenon of metal creeping. Characteristics of novel American alloys resistant to high temperatures. Economic aspect of the problem; contingence of initial cost on the general efficiency of the plant and on the progress of technique. Standardisation of steam parameters in the USA, USSR, France, Belgium, Great Britain, Czechoslovakia and Poland. Conclusions.

Quelques points de vue au sujet du choix des paramètres de la vapeur dans les grandes centrales électriques modernes (á condensation). Avantages résultants de l'élévation des paramètres de la vapeur du point de vue thermodynamique. Dépendance des calculs théoriques de la précision des tables de la vapeur d'eau. Influence de la resurchauffe sur le rendement général du cycle. Influence de l'humidité de la vapeur dans la partie basse-pression de la turbine et de l'importance du courant de vapeur sur le rendement de la turbine. Qualités de résistanse exigées des matériaux de construction soumis à de hautes températures et pressions. Problème de l'écoulement du métal. Caractéristiques des nouveaux alliages américains faits pour résister à de hautes températures. Coté économique de la question, dépendance des frais de premier établissement du rendement général de la centrale électrique et des progrès techniques. Normalisation des paramètres de la vapeur aux E. U., en URSS, en France, Belgique, Angleterre, Tchécoslovaquie et Pologne. Conclusions.

1. Wstęp.

Okres powojenny cechuje w całej Europie ostry deficyt mocy i energii elektrycznej. Nawet w najsilniej zelektryfikowanych krajach deficyt mocy osiągnął rozmiary nie notowane w historii energetyki.

Ogólne potrzeby energetyczne gospodarki wojennej były pokrywane zarówno w krajach alianckich, jak i w państwach osi nie tyle przez budowanie i oddawanie do eksploatacji nowych wytwórni, ile przez zmniejszanie rezerw, reglamentowanie spożycia, powiększanie czasu użytkowania urządzeń, nieraz zupełne zaniedbanie napraw zapobiegawczych.

Taka rabunkowa gospodarka urządzeń energetycznych doprowadziła wyposażenie maszynowe do fatalnego stanu.

W Anglii deficyt mocy szacowany jest obecnie na 1400 MW. U nas tylko na terenie Zagłębia deficyt osiągnął 50 MW przy bardzo małym stopniu rezerwy. Według ECE deficyt mocy w Europie szacowany jest na 10 000 MW. Ten stan rzeczy spowodował, że we wszystkich niemal państwach Europy gospodarcze plany państwowe na jednym z pierwszych miejsc stawiają zadanie odbudowy i rozbudowy energetyki.

Ze względu na długi okres wykonywania urządzeń energetycznych plany energetyczne tworzone są na 3—5 lat. Oto przykłady: w Związku Radzieckim bieżący plan pięcioletni przewiduje zainstalowanie do końca 1950 r. 12 000 MW, w tym około 9 000 MW w elektrowniach parowych; w tym samym czasie w Anglii planuje się budowę około 5 600 MW, we Francji plan Moneta przewiduje wzrost mocy zainstalowanej o 4 200 MW.

Nasz plan trzyletni przewiduje w latach 1947—1949 zainstalowanie około 600 MW, dla których wszystkie zamówienia na urządzenia są już ulokowane zagranicą i w kraju. Obecnie prowadzone są układy w sprawie dalszych z górą 1 000 MW z przewidywanym okresem zainstalowania ich w następnych 3 latach.

Realizacja planów na tak szeroką skalę wymaga jak najdalej idącej normalizacji zarówno przy projektowaniu i budowie zakładów, jak i produkcji samych urządzeń wytwórczych. Wykonanie terminowe takich planów możliwe jest przez wprowadzenie daleko idących uproszczeń i normalizacji.

Z tego powodu w Niemczech w okresie budownictwa wojennego w ramach tzw. „Wärmekraftsofortprogramm" stworzono projekt typowej elektrowni o mocy 300 MW (4 dwumaszynowe jednostki po 75 MW).

W ZSRR w związku z realizacją wielkiego programu energetycznego w ramach ostatniego planu 5-letniego opracowany jest projekt normalnej elektrowni o mocy 200 MW w 4 jednostkach po 50 MW.

W USA wypowiadają się za elektrowniami wielkiej mocy sięgającymi w większych miastach 600 MW, w okręgach rzadko zaludnionych 100—200 MW. Nowoczesne wielkie elektrownie planuje się od razu na pełną moc, którą powinno się osiągnąć w 2—3 etapach. Również szereg elementów elektrowni, jak np. palowanie pod fundamenty, ujęcie wody, pompownię, kanały wody chłodzącej, urządzenia złożyska węglowego wykonywa się od razu w przystosowaniu do pełnej rozbudowy zakładu.

Przy tak ogromnym programie budownictwa nowych elektrowni zasadniczego znaczenia nabiera zagadnienie parametrów początkowych pary. Wiąże się z tym sprawność zakładu, koszty inwestycyjne (zakładowe), a więc i cena wyprodukowanej energii. Przy tak wielkich planach energetycznych każdy procent poprawy sprawności daje oszczędności wynoszące dziesiątki i setki tys. ton węgla rocznie.

2. Strona teoretyczna zagadnienia.

Wskaźnikiem charakteryzującym jakość procesu przetwarzania energii cieplnej paliwa w energię elektryczną jest sprawność ogólna instalacji.

Jest więc rzeczą zupełnie naturalną, że postęp techniki w tej dziedzinie idzie w kierunku bezustannego podwyższania sprawności. Niestety, z drugiej zasady termodynamiki wynika, że teoretyczna sprawność obiegu termodynamicznego stosowanego w elektrowni parowej posiada swoją granicę i że dzisiaj jesteśmy już tej granicy bliscy.

Sprawność teoretyczna dla czynnika doskonałego według obiegu Carnota daje się wyrazić wzorem

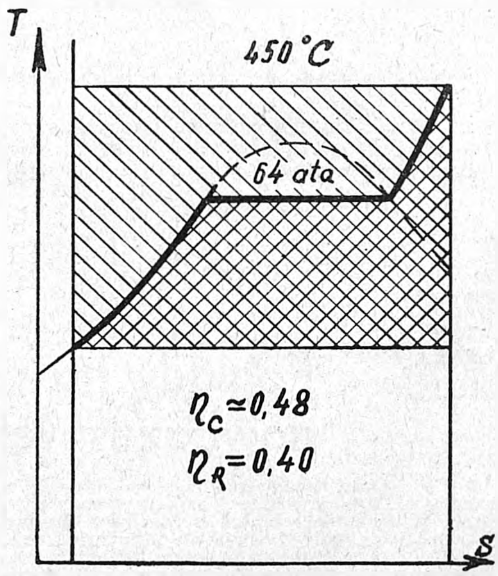
$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

gdzie T_1 jest temperaturą bezwzględną górnego źródła ciepła i przy dzisiejszym stanie techniki cieplnej można przyjąć, że T_1 wynosi praktycznie 550°C tj. 823°K (dla urządzeń parowych); T_2 jest temperaturą bezwzględną „chłodnicy" — dolnego źródła ciepła; w praktyce jest to temperatura wody chłodzącej skraplacza i wynosi w korzystnym wypadku, przy chłodzeniu bezpośrednio wodą rzeczną, 15°C tj. 288°K. Stąd sprawność teoretyczna:

$$\eta_t = \frac{823 - 288}{823} = \frac{535}{823} = 0{,}645.$$

Wobec szczególnych własności pary wodnej proces w silniku parowym będzie przebiegał według obiegu Rankina, którego sprawność jest znacznie niższa niż sprawność obiegu Carnota.

Na rys. 1 pokazano w układzie *T-S* oba obiegi. Ilość ciepła użytecznego według obiegu Carnota (całe pole



Rys. 1. Obiegi Carnota i Rankina w układzie *T—S*

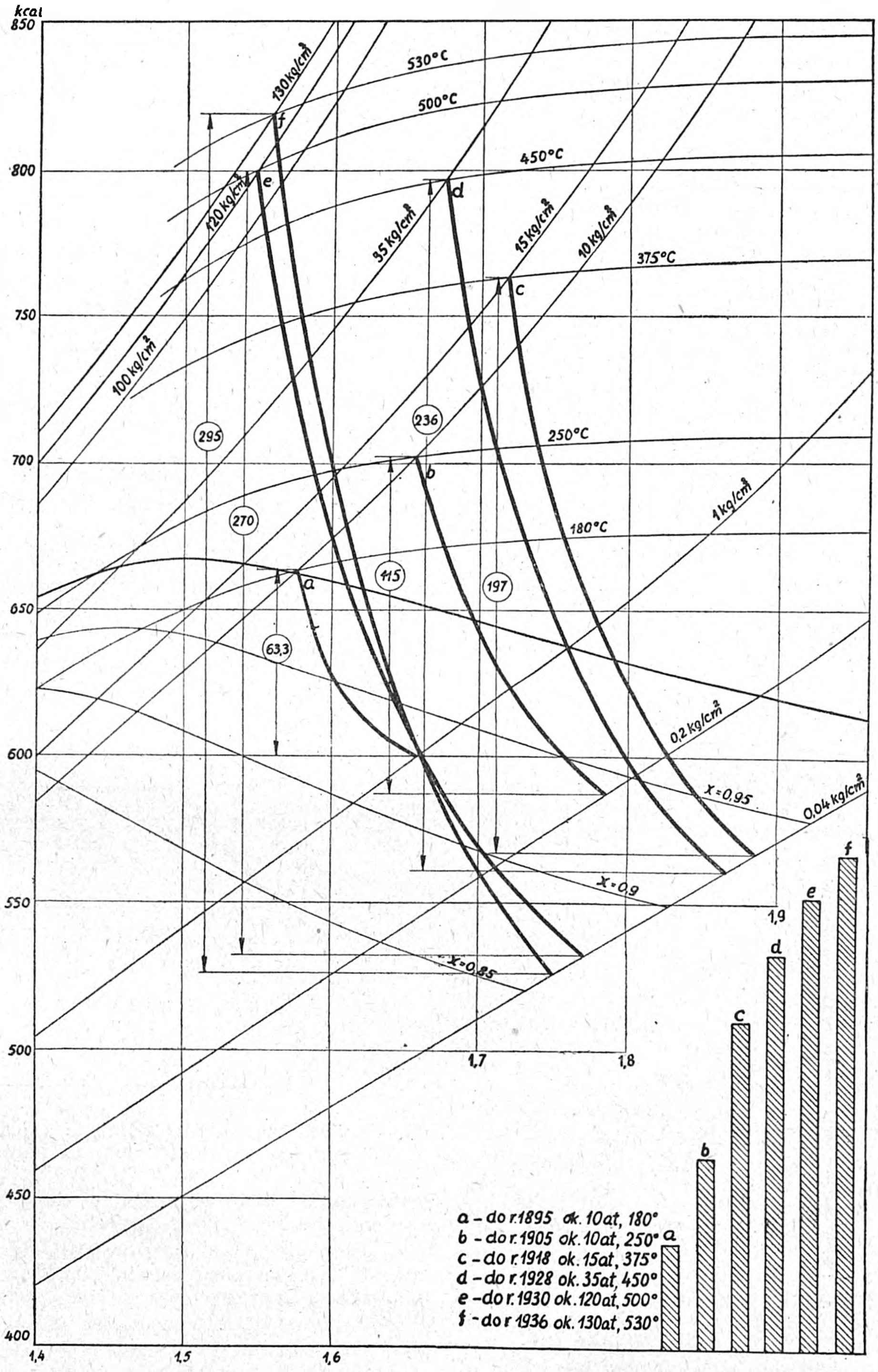
zakreskowane) jest większą niż według obiegu Rankina (pole podwójnie zakreskowane).

Warto tu zaznaczyć, że według ostatnio wykonanych teoretycznych przeliczeń sprawności dla obiegu turbiny parowej z regeneracyjnym podgrzewaniem skroplin o nieskończonej ilości stopni wynika, że sprawność takiego

obiegu dla pary nasyconej ma graniczną wartość równą sprawności według idealnego obiegu Carnota.

Aby otrzymać ogólną sprawność całej instalacji elektrownianej $\eta_{og.}$, należy uwzględnić sprawność wszystkich elementów, jak kotły, turbiny i rurociągi, oraz i wynosi dla nowoczesnej parowej elektrowni skraplaczowej około 0 71. Niewiele da się ją obniżyć przy istniejących konstrukcjach.

Ta pozornie niska sprawność techniczna jest zrozumiała, jeśli uświadomimy sobie, jak bardzo skomplikowany i długi jest łańcuch urządzeń wprzęgniętych do pracy we współczesnej elektrowni, tym bardziej, że w elektrowni rolę nie mniej ważną niż sprawność całej instalacji odgrywają względy specjalne, jak pewność ruchu, łatwość eksploatacji i możliwość centralnego sterowania takim ogromnym mechanizmem, jakim jest wielka elektrownia. Dalsze podwyższanie sprawności technicznej urządzeń można uzyskać tylko drogą znacznego powiększania wydatków inwestycyjnych, np. przez nadawanie większych wymiarów kanałom gazowym, rurociągom, komorom paleniskowym kotłów itp., byłoby to jednak sprzeczne z zasadą gospodarności.



Rys. 2. Stopniowy rozwój wyzyskania energii cieplnej w ciągu ostatnich 50 lat

uwzględnić rozchód energii na własne potrzeby: młyny, pompy zasilające, pompy wody chłodzącej, transport spalin itp.

Nazwiemy sprawność łączną tych wszystkich urządzeń sprawnością techniczną $\eta_{techn.}$. Przyjmując odpowiednio: $\eta_{kotł.} = 0{,}94$, $\eta_{rur.} = 0{,}99$, $\eta_{mech.\ turb.} = 0{,}985$, $\eta_{wewn.\ turb.} = 0{,}85$, $\eta_{gen.} = 0{,}985$, $\varepsilon_{wł.\ potrz.} = 0{,}95$, otrzymamy $\eta_{techn.} = 0{,}73$. Wtedy $\eta_{og.} = \eta_t \cdot \eta_{techn.}$

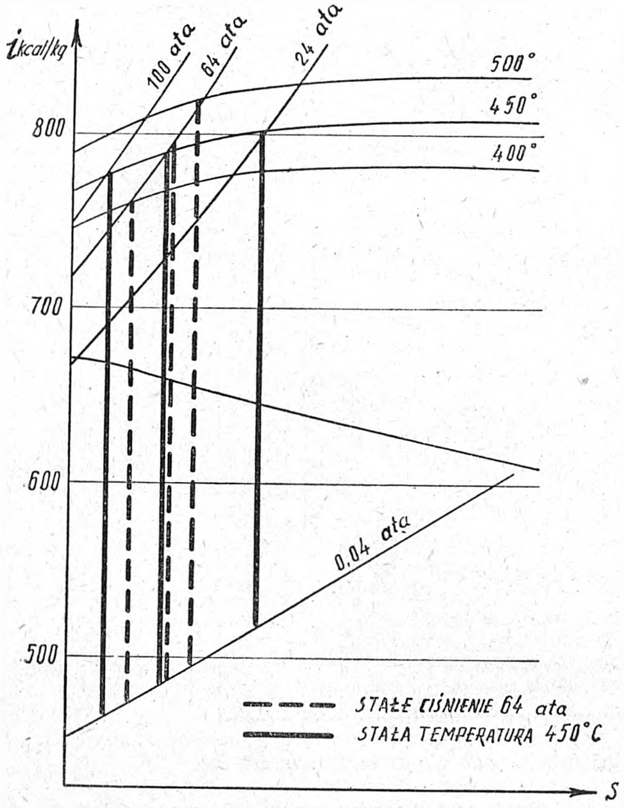
Sprawność techniczna charakteryzuje nam konstrukcyjną doskonałość wszystkich wymienionych elementów

Jak z powyższego rozważania wynika, najprostszym sposobem podniesienia sprawności ogólnej urządzenia z punktu widzenia przebiegów termodynamicznych przy idealnym czynniku i obiegu Carnota jest powiększenie różnicy temperatur T_1—T_2. Ponieważ temperatura źródła dolnego T_2 jest temperaturą wody chłodzącej skraplacza i jest stała dla naszych warunków, pozostaje tylko podwyższenie temperatury źródła górnego T_1 tj. podwyższenie temperatury pary dolotowej. Jednak wobec szczególnych własności termodynamicznych pary wodnej podniesienie ciśnienia pary dolotowej wpływa również na podniesienie sprawności teoretycznej procesu przemiany energii cieplnej w mechaniczną w silniku parowym, to też rozwój techniki cieplnej poszedł drogą podwyższania dwu parametrów pary dolotowej: temperatury i ciśnienia. Rys. 2 ilustruje na wykresie *i*—*S* ten właśnie proces rozwoju techniki cieplnej w ciągu ostatnich lat 50. Słupki *a*, *b*, *c*, *d* *e*, *f* w dolnym prawym rogu rysunku podają wzrost w silnikach parowych użytecznego spadku cieplika z postępem techniki.

Wykresy *T*—*S* oraz *i*—*S* dla pary wodnej są szczególnie dogodną ilustracją do naszych rozważań, gdyż skomplikowane procesy termodynamiczne sprowadzają się na nich do prostych geometrycznych manipulacji.

Z wykresu *i*—*S* (rys. 3), widać wyraźnie, że ze wzrostem ciśnienia pary dolotowej przy stałej temperaturze cieplik pary dolotowej i_1 maleje, użyteczny spadek cieplika rośnie jednak (a co zatem idzie, i praca mechaniczna uzyskana z 1 kg pary przy stałej sprawności wewnętrznej turbiny rośnie), gdyż cieplik pary wylotowej turbiny i_2 przy stałym ciśnieniu panującym w skraplaczu maleje szybciej i sprawność teoretyczna procesu rośnie.

Wzrost sprawności teoretycznej przebiegu w silniku parowym przy podnoszeniu ciśnienia widoczny jest



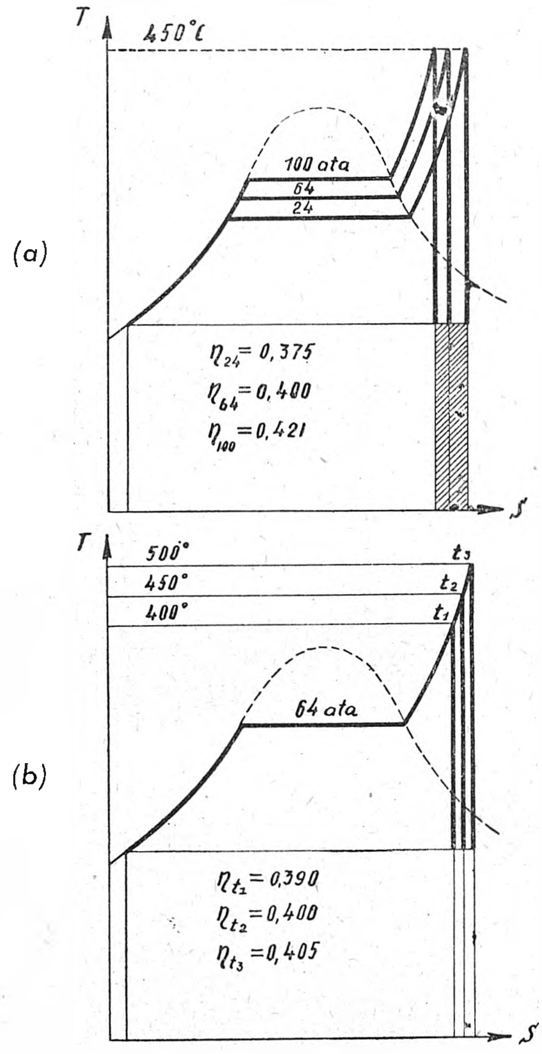
Rys. 3. Zależność użytecznego spadku cieplika od ciśnienia i temperatury

również w układzie *T*—*S* (rys. 4a). Widać tam wyraźnie że przy wzroście ciśnienia cieplik pary wylotowej maleje o powierzchnię zakreskowaną, powiększenie cieplika pary dolotowej nie jest natomiast z wykresu oczywiste.

Na rys. 4 b pokazany jest wpływ podniesienia temperatury pary dolotowej na sprawność teoretyczną silnika parowego. W tym wypadku oczywistą ilustracją wzrostu sprawności teoretycznej silnika parowego jest wykres *T* — *S*, z którego widać, że teoretyczne sprawności obiegów elementarnych, powstających ze wzrostem temperatury t_1 do t_3, są kolejno coraz większe.

Jeszcze szybszy efekt powiększenia użytecznego spadku cieplika *i* uzyskamy podnosząc jednocześnie z ciśnieniem temperaturę pary dolotowej.

Wykres na rys. 5 podaje teoretyczny użyteczny spadek cieplika Δi_t, sprawność teoretyczną η_t oraz cieplik pary dolotowej i_1 przy różnych ciśnieniach i temperaturach



Rys. 4. Wpływ zmiany ciśnienia (a) i temperatury (b) na sprawność silnika parowego

pary dolotowej i przy próżni w skraplaczu 96% tj. przy ciśnieniu bezwzględnym 0.04 ata.

Krzywe wykonane są na podstawie wykresów entropowych i tablic pary wodnej, opracowanych przez Wukałowicza i wydanych w r. 1946 przez Gosenergoizdat.

Teoretyczny użyteczny spadek cieplika Δi_t oraz cieplik pary dolotowej i_1 pozwalają bezpośrednio określić sprawność teoretyczną obiegu z prostej zależności:

$$\eta_t = \frac{\Delta i_t}{i_1 - t_2},$$

gdzie t_2 jako temperaturę źródła dolnego (wody chłodzącej skraplacza) można założyć stałą: $t_2 = 15^0$C.

Z wykresu widać wyraźnie, że cieplik pary dolotowej i_1 maleje wraz ze wzrostem ciśnienia i to maleje tym szybciej, im niższa jest temperatura przegrzania pary. Przy tym samym ciśnieniu wartość cieplika pary dolotowej jest proporcjonalna do temperatury przegrzania i jest, oczywiście, tym większa, im wyższa jest temperatura przegrzania pary.

Użyteczny spadek cieplika Δi_t przy wzroście ciśnienia przechodzi przez pewne maksymum i przy dalszym wzro-

ście ciśnienia powoli maleje. Największe wartości użytecznego spadku cieplika przesuwają się w miarę podwyższania temperatury przegrzania pary w prawo, tj. w obszar wyższych ciśnień. Tak np. użyteczny spadek cieplika posiada wartość 300 kcal/kg przy 50 ata i 450°, osiąga przy tej temperaturze wartość największą 315 kcal/kg przy ciśnieniu ok. 120 ata przy dalszym wzroście ciśnienia spada znów do 300 kcal/kg przy ciśnieniu ok. 230 ata. Przy temperaturze 500° Δi_t osiąga największą wartość, wynoszącą 335 kcal/kg przy ciśnieniu ok. 160 ata.

Teraz staje się zrozumiały pozorny paradoks: sprawność obiegu rośnie pomimo tego, że użyteczny spadek cieplika maleje. Przy wysokich ciśnieniach mianownik wyrażenia określającego sprawność teoretyczną obiegu maleje szybciej niż wielkość w liczniku i całe wyrażenie wskutek tego rośnie. Wzrost sprawności staje się jednak bardzo powolny dla ciśnień rzędu ponad 100 do 150 ata i, jak to zobaczymy niżej po dokładnym zbadaniu termodynamicznych własności nasyconej pary wodnej w tych obszarach ciśnień i temperatur zysk na sprawności może się okazać jeszcze znacznie mniejszy.

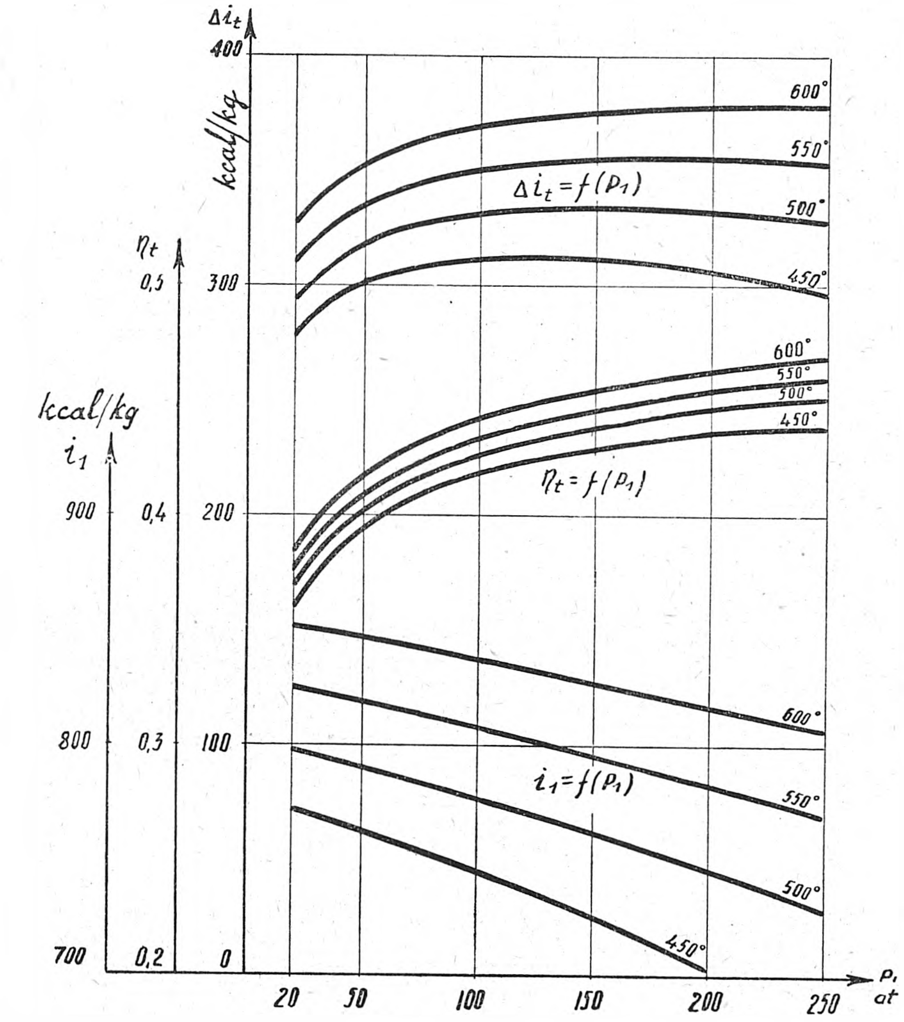
Z wykresów i — S i T — S na rys. 2, 3 i 4 widać, że podnoszenie ciśnienia pary dolotowej oraz postęp w budowie maszyn, pozwalający na lepsze wyzyskanie użytecznego spadku cieplika i podwyższenie sprawności wewnętrznej turbiny, posiada swoją niekorzystną cechę: stan pary w końcowym stadium rozprężenia przechodzi coraz głębiej w obszar większych wilgotności pary nasyconej, co nader szkodliwie odbija się na pracy turbiny i jej sprawności, jak to zobaczymy niżej.

Należy tu zaznaczyć, że do chwili obecnej własności termodynamiczne pary wodnej zbadane są doświadczalnie tylko do 450°C, wszystkie zaś tablice pary wodnej dla temperatur wyższych od 450°C w zasadzie budowane są przy pomocy ekstrapolacji i nie opierają się na materiale doświadczalnym.

Rozpowszechnione przed wojną tablice i wykresy i — S Knoblaucha, Hauzena, Rauscha i Kocha dają niedopuszczalne w zakresie wys. ciśnień i temperatur uchyby, sięgające do 7 kcal/kg nie odpowiadają więc tolerancjom proponowanym na Miedzynarodowej Konferencji dla własności pary wodnej i nie powinny być stosowane.

Według opinii Baumana, opierającego się na tablicach Callendara z 1939 r., wzrost sprawności przy ciśnieniach powyżej 70 at jest znacznie mniejszy, niż by to wynikało ze starych, stosowanych do tego czasu tablic pary wodnej.

Obecne obliczenia poprawy sprawności termicznej obiegu przez podwyższenie temperatury ciśnienia, w porównaniu z odpowiednimi obliczeniami sprzed wojny, podane są w tabl. I i II i na rys. 6.



Rys. 5. Cieplik pary dolotowej, teoretyczny użyteczny spadek cieplika Δi_t i sprawność teoretyczna przebiegu przy różnych ciśnieniach i temperaturach

Jak widzimy, poprawa sprawności w świetle nowych badań nad własnościami pary wodnej w wysokich temperaturach i ciśnieniach jest w okrągłych cyfrach o 20% gorsza, niż to się wydawało przed wojną, niemniej jednak korzyści ze stosowania podwyższonych parametrów są znaczne.

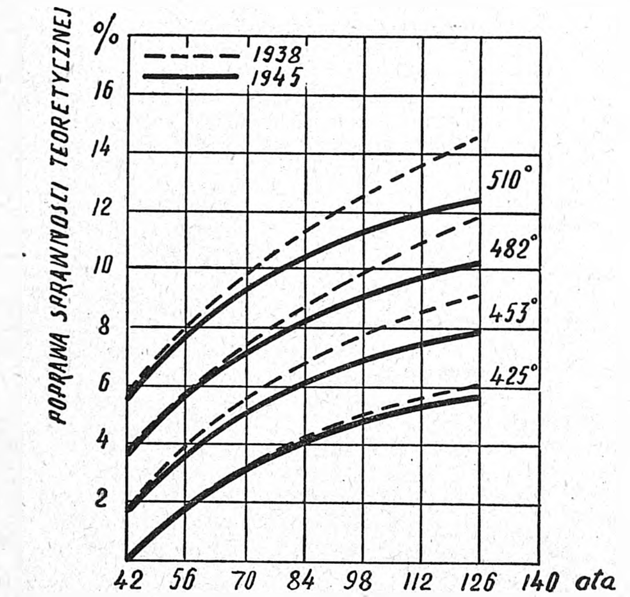
3. Przegrzewanie międzystopniowe.

Podwyższenie ciśnienia pary dolotowej przesuwa końcowy punkt rozprężenia pary w przestrzeń o coraz większej wilgotności.

Naturalnym środkiem zmniejszenia wilgotności pary jest zastosowanie międzystopniowego przegrzewania pary. Polega ono na tym, że parę po przerobieniu jej w części wysokoprężnej turbiny lub w osobnej turbinie wysokoprężnej odprowadza się do przegrzewacza, gdzie jest po-

wtórnie przegrzewana przy stałym ciśnieniu bądź spalinami, bądź żywą parą, a następnie doprowadza się ją do części niskoprężnej turbiny lub do specjalnej turbiny niskoprężnej, w której następuje rozprężenie do ciśnienia panującego w skraplaczu.

Na rys. 7 pokazane są zasadnicze schematy włączenia międzystopniowego przegrzewacza pary. W wypadku podgrzewania spalinami (rys. 7 a) przegrzewacz wbudo-



Rys. 6. Poprawa sprawności teoretycznej przebiegu ze wzrostem ciśnienia i temperatury w stosunku do przebiegu przy 42 ata i 425°C według przewidywań w 1938 i 1945 r. (Bauman)

wany jest w kocioł, bądź też stanowi osobne urządzenie z własnym paleniskiem. Cała para musi być odprowadzona z maszynowni z powrotem do kotłowni, po przegrzaniu zaś znów wraca do maszynowni. Tak długi trakt parowy

Tablica I. Wpływ podwyższania temperatury

Ciśnienie pary na zaworze wlotowym w at		42	64	85	105
Przyrost sprawności w % na każde $5^1/_2$ °C podwyższenia temperatury pary dolotowej	1938 r.	0,37	0,39	0,42	0,50
	1945 r.	0,37	0,38	0,39	0,41

powoduje łączne straty ciśnienia sięgające 16 do 20% w stosunku do ciśnienia przeciwprężnego.

W wypadku możliwości stosowania paliwa płynnego lub gazowego do opalania przegrzewacza firma BBC usta-

Tablica II. Wpływ podwyższania ciśnienia

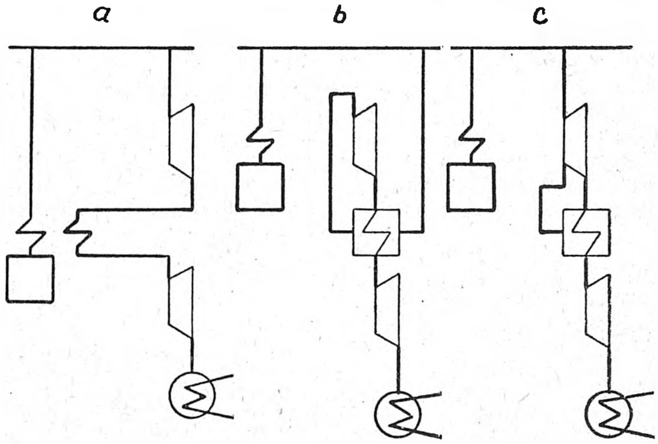
Podwyższenie ciśnienia z 42 at do poziomu (at)		64	85	105	125
Przyrost sprawności przy temperaturze 485 °C	1938 r.	2,9	5	6,6	7 9
	1945 r.	2,7	4,4	5,5	6,3

wia przegrzewacz główny systemu „Velox" tuż przy turbinie, obniżając w ten sposób znacznie straty ciśnienia.

Przegrzewanie parą (rys. 7 b, c) pozwala umieścić przegrzewacz przy turbinie i zredukować znacznie straty ciśnienia. Temperatura przegrzania jest jednak w tym wypadku z natury rzeczy ograniczona, co jak zobaczymy niżej wpłynie na obniżenie ogólnej sprawności całego przebiegu.

Proces międzystopniowego przegrzania pary daje podwójną korzyść: 1) poprawienie sprawności termodynamicznej turbiny przez nieco lepsze warunki rozprężenia i przepływu pary w części niskoprężnej turbiny dzięki jej mniejszej wilgotności; 2) przy odpowiednio dobranych parametrach powtórnego przegrzewania pary można podnieść ogólną sprawność teoretyczną całego przebiegu cieplnego.

Poprawienie sprawności ogólnej przebiegu najlepiej ilustruje wykres $T - S$ (rys. 8). Widzimy, że przesunięcie



Rys. 7. Schematy międzystopniowego przegrzewania pary za pomocą spalin (a) i za pomocą pary (b, c)

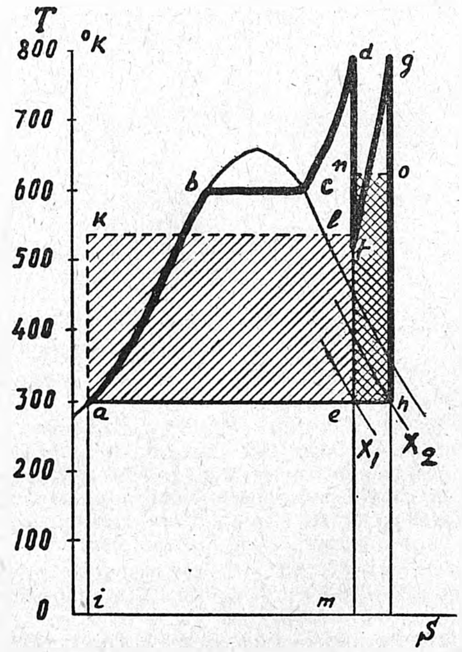
końcowego punktu rozprężania pary z e do h oznacza zmniejszenie wilgotności pary, ponieważ $x_1 > x_2$ · de jest adiabatycznym rozprężeniem w turbinie bez przegrzewania międzystopniowego, df oraz gh odpowiadają kolejnemu rozprężaniu w części wysokoprężnej turbiny i niskoprężnej turbiny, fg jest przebiegiem przegrzewania w samym przegrzewaczu.

Zamieniając powierzchnię *abcde* oraz *efgh* na równoważne prostokąty *akle* oraz *enoh* możemy wyrazić sprawności teoretyczne:

$$\eta_{t_1} = \frac{ak}{ki} \text{ oraz } \eta_{t_2} = \frac{ne}{nm}.$$

Jeśli $\eta_{t_2} > \eta_{t_1}$, to przegrzanie międzystopniowe da powiększenie ogólnej sprawności teoretycznej przebiegu.

Zasadniczym powodem stosowania międzystopniowego przegrzania pary jest zmniejszenie wilgotności pary w części niskoprężnej turbiny i płynące stąd korzyści



Rys. 8. Wpływ międzystopniowego przegrzewania pary na sprawność przebiegu

eksploatacyjne (uniknięcie korozji). Trudności z uzyskaniem stali stopowych odpornych na wysokie temperatury zmuszały Niemców do projektowania w latach 1942—5 swych wielkich elektrowni w ramach „WKS-programu" na ciśnienie 125 at i 450°C; końcowa wilgotność pary przy

bezpośrednim rozprężaniu wyniosłaby 18%, co jest niedopuszczalne, wskutek czego wszystkie te elektrownie projektowane były z międzystopniowym przegrzewaczem pary, a zespoły maszynowe pomyślane były jako dwumaszynowe.

Postępy metalurgii i podnoszenie wytrzymałości stali w wysokich temperaturach sprawiły, że dziś już nierzadko spotyka się w praktyce zastosowanie pary wlotowej o temperaturze 540°C, a istnieją urządzenia doświadczalne pracujące przy 600°C i ciśnieniach do 300 at.

Jeśli uwzględnić również uwieńczone powodzeniem wysiłki konstruktorów turbinowych w kierunku stosowania specjalnych urządzeń drenujących do odprowadzania wody z części niskoprężnej turbin oraz poprawy materiału łopatkowego, pozwalające dopuszczać teoretyczną wilgotność pary do 14—15%. wydaje się, że konieczność stosowania międzystopniowego przegrzewu pary ulegnie znacznemu ograniczeniu, jeśli nie da się jej całkowicie uniknąć.

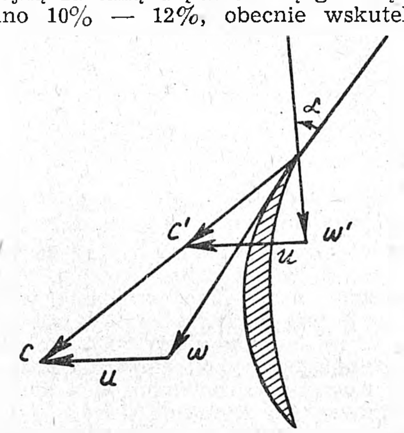
Z drugiej jednak strony w związku z niespodziewanym wzrostem ceny węgla należało znów zrewidować schematy cieplne siłowni parowych uważane w warunkach przedwojennych za nieekonomiczne. Ostatnio, po wojnie, dał się odczuć w USA znów pewien zwrot w opinii technicznej w stosunku do przegrzewania międzystopniowego pary. Przyjmując ciśnienie międzystopniowego przegrzewania równe 27% ciśnienia początkowego, a spadek ciśnienia w przegrzewaczu ok. 10%, można otrzymać najlepszą poprawę sprawności ogólnej obiegu cieplnego o 4—4½% w stosunku do obiegu o takich samych parametrach, lecz bez przegrzewania międzystopniowego. W USA niektórzy uważają, że trudności techniczno-eksploatacyjne związane ze stosowaniem przegrzewania międzystopniowego zostały w znacznym stopniu opanowane.

4. Względy techniczno-ekonomiczne.

Oprócz wymienionych okoliczności natury termodynamicznej na wybór parametrów pary mają zasadniczy wpływ względy natury technicznej, związane z postępem metalurgii w dziedzinie produkcji stali odpornych na wysokie temperatury, konstrukcja urządzeń turbinowych oraz pewne właściwości turbin.

Jak wspomniano wyżej, wilgotność pary uchodzącej z ostatniego wirnika turbiny do skraplacza nie powinna przekraczać pewnej granicznej wartości.

Przed wojną za taką dopuszczalną granicę wilgotności przyjmowano 10% — 12%, obecnie wskutek pewnych

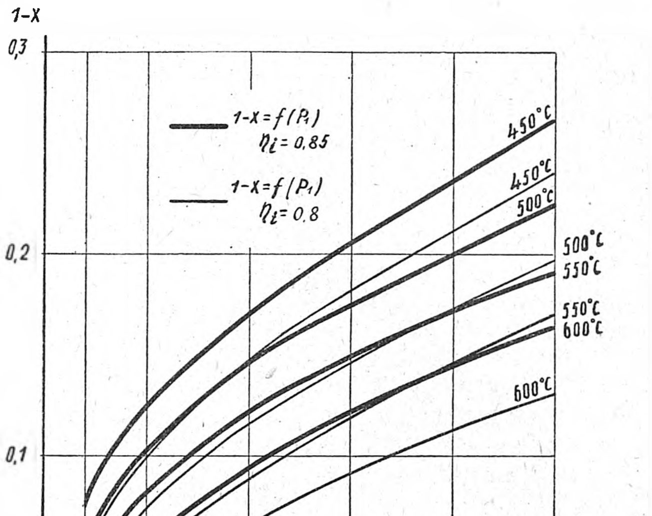


Rys. 9. Erozja łopatek turbinowych pod wpływem wilgotnej pary (odchylenie strumienia pary o kąt α spowodowane nadmierną wilgotnością pary)

ulepszeń konstrukcyjnych, o których jeszcze wspomnimy niżej, dopuszczalna wilgotność graniczna została podniesiona do 14, a nawet 15%.

Badania wykazały, że zawarte w wilgotnej parze kropelki wody uzyskują odpowiedni kierunek prędkości, i dając z jednej strony pewien moment hamujący, z drugiej padając pod nieodpowiednim kątem na łopatkę, powodują erozję grzbietu łopatek (rys. 9). Pociąga to za sobą wzrost kosztów eksploatacyjnych, związanych z częstą wymianą łopatek niskoprężnych. Pogorszenie wilgotności o 1% powoduje pogorszenie sprawności termodynamicznej turbiny również o 1%.

Zwalczanie wpływu nadmiernej wilgotności pary na łopatki części niskoprężnej szło w kierunku doboru bardziej odpornego na korozję metalu całych łopatek lub stosowania na grzbiecie łopatki hartowanych nakładek, a dalej zmieniano kształt łopatek, aby zmniejszyć działanie udarowe kropel wody, wreszcie stosowano specjalne



Rys. 10. Zależność końcowej wilgotności pary od parametrów pary dolotowej

urządzenia drenujące, oparte na działaniu siły odśrodkowej, do zbierania i odprowadzania wody z ostatnich stopni.

Na rys. 10 pokazana jest zależność końcowej wilgotności pary od parametrów pary dolotowej przy założonej sprawności termodynamicznej η_i = 0,80 oraz η_i = 0,85.

Wielkości parametrów końcowych przebiegu rozprężania pary w turbinie parowej, tj. temperatura i ciśnienie panujące w skraplaczu posiadają bezpośredni wpływ na wybór parametrów początkowych pary. Wielkości te określone są przez temperaturę użytej wody chłodzącej:

dla chłodzenia wodą w obiegu zamkniętym przy t_2 = 25—27°C otrzymuje się odpowiednio p_2 = 0,07 — 0,08 ata;

dla chłodzenia wodą w obiegu otwartym otrzymamy odpowiednio:

w naszym klimacie, przy $t_2 = 15^0$ $p_2 = 0{,}04$ ata,
w klimacie ostrzejszym przy $t_2 = 10^0$ $p_2 = 0{,}03$ ata.

Z rozważań przytoczonych wyżej jest oczywiste, że im głębsza jest próżnia w skraplaczu, tym wilgotniejszą parę otrzymuje się na wylocie z turbiny.

Tuż przed wojną dla wyboru parametrów parowych dla elektrowni cieplnych podawali Niemcy następujący rząd proponowanych wysokich ciśnień: 64, 80, 125 ata dla temperatury 500°. Ciśnienie 125 ata uważane było za najwyższe ekonomiczne i technicznie uzasadnione ciśnienie, wymagające jednak bezwzględnie stosowania przegrzewu międzystopniowego. Następny niższy stopień ciśnienia 80 ata stanowił to najwyższe ciśnienie, przy którym uzyskuje się przy chłodzeniu wodą w obiegu zamkniętym (t_2 = 25°, p_2 = 0,07 ata) jeszcze dopuszczalną wilgotność pary na wlocie do kondensatora (przyjęto ok. 10%, a więc bardzo ostrożnie). W wypadku zaś zastosowania wody rzecznej w obiegu otwartym t_2 = 10°C, p_2 = 0,03 ata) nasuwało się ze względu na głębszą próżnię ciśnienie 64 ata. Ciśnienie to jednak dla ujednostajnienia typów i zmniejszenia liczby konstrukcji kotłowych nie było zalecane, przy pewnym zaś postępie techniki i dopuszczeniu wilgotności 12% w ostatnich stopniach turbiny ciśnienie dolotowe można było podwyższyć i stosować w wypadku chłodzenia wodą w obiegu zarówno

zamkniętym, jak i otwartym ciśnienie 80 ata. Dość rozpowszechnione w energetyce europejskiej ciśnienie 64 ata ma zatem wyłącznie znaczenie historyczne i stosowanie go było uzasadnione wtedy, gdy konstrukcje turbin parowych dopuszczały maksymalną wilgotność w stopniach krańcowych 10%. Obecnie jest ono już dla jednostek o mocy ponad 20 MW technicznie i gospodarczo nieuzasadnione.

Jeżeli określimy maksymalną końcową wilgotność pary na 14% oraz założymy, że chłodzenie prowadzone jest w obiegu zamkniętym, tj. że próżnia wynosi 0.07 ata, to w tych warunkach największe dopuszczalne ciśnienia pary dolotowej przy $t=485^0$ będzie wynosiło w zależności od sprawności wewnętrznej turbiny odpowiednio:

przy $\eta_i = 0{,}85$ $p_1 = 95$ ata
$\eta_i = 0{,}82$ $p_1 = 119$ ata
$\eta_i = 0{,}80$ $p_1 = 140$ ata

przy założeniu zaś chłodzenia w obiegu otwartym wodą rzeczną, co odpowiada ciśnieniu w kondensatorze ok. 0,04 ata, odpowiednio:

$\eta_i = 0{,}85$ $x = 0{,}86$ $t_1 = 485^0$ C $p_1 = 80$ ata
$\eta_i = 0{,}82$ $x = 0{,}86$ $t_1 = 485^0$,, $p_1 = 104$ ata
$\eta_i = 0{,}80$ $x = 0{,}86$ $t_1 = 485^0$,, $p_1 = 122$ ata

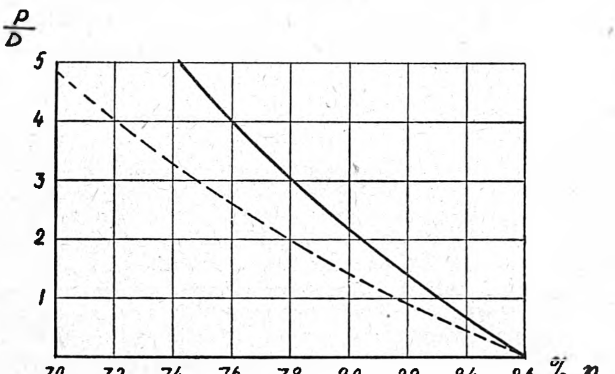
Przyjęcie zatem proponowanych 80 ata jako ciśnienia konstrukcyjnego kotła, tj. ok. 68 ata przy 485°C na wlocie do turbiny, oznacza dopuszczenie wilgotności pary na wylocie do skraplacza 13% przy wodzie rzecznej i 12% przy chłodzeniu w obiegu w założeniu sprawności wewnętrznej turbiny $\eta_i = 0{,}85$.

Przy gorszej sprawności wewnętrznej turbiny warunki pracy ze względu na wilgotność pary w ostatnich rzędach będą, oczywiście, jeszcze korzystniejsze, gdyż para wyjdzie z turbiny bardziej osuszona.

Przyjęcie ciśnienia koncesyjnego 80 ata przy tych samych materiałach i trudnościach technicznych co 64 ata daje o ok. 1.5% mniejsze spożycie paliwa i jest całkowicie uzasadnione osiągnięciami w dziedzinie urządzeń osuszających parę w ostatnich stopniach turbin.

Innym czynnikiem natury technicznej bezpośrednio wpływającym na wybór parametrów pary jest wielkość turbiny.

Jeszcze do niedawna istniał pogląd, że wielkość turbiny wysokoprężnej powinno się wyznaczać z zależności $\frac{p}{D} \leqslant 1$, gdzie D jest to pobór pary przez część wysokoprężną w t/h, p ciśnienie pary dolotowej w ata. Nierówność ta

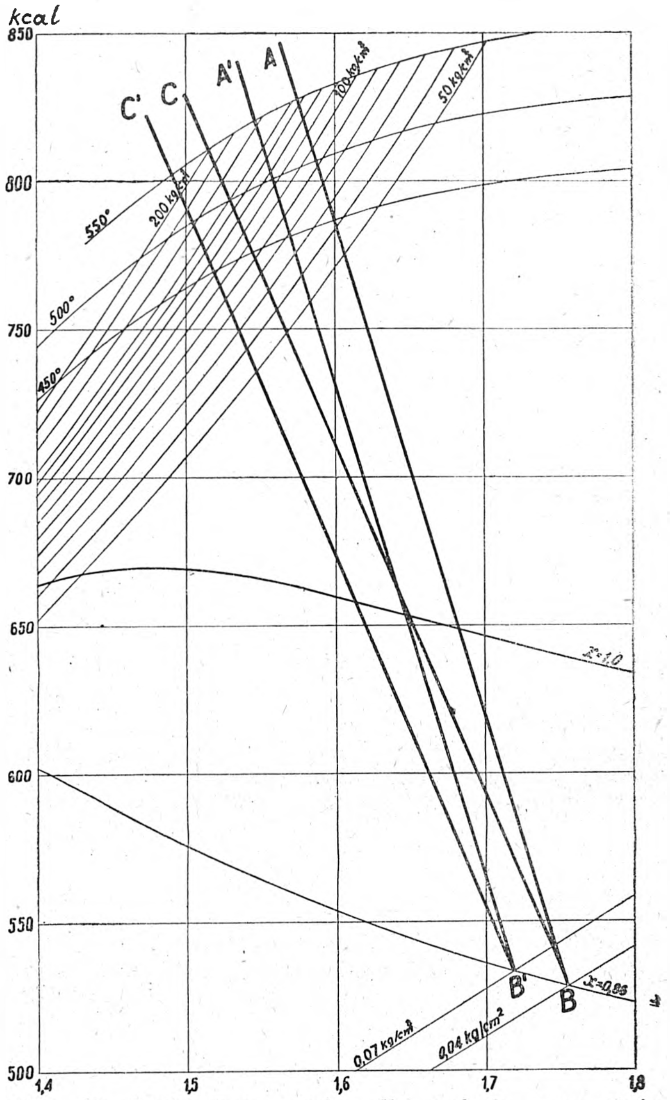


Rys. 11. Zależność sprawności wewnętrznej turbiny od stosunku ciśnienia do strumienia pary

wyraża zależność czynnego przekroju wirnika od sprawności wewnętrznej turbiny.

Zależność ta wypływa stąd, że przy wysokich ciśnieniach maleje objętość właściwa pary, a co za tym idzie i wymiary łopatek pierwszych stopni turbiny; powoduje to powiększenie strat przepływu w części wysokoprężnej, a to z kolei pociąga za sobą obniżenie sprawności termodynamicznej turbiny.

Z rys. 11 widać, że nowoczesna turbina na 100 at przy poborze pary 200 t/h posiada sprawność wewnętrzną o 5% większą od turbiny, która pobiera 45 t/h przy tym samym ciśnieniu. Dla turbin starszej konstrukcji spadek sprawności był znacznie większy. Oprócz tego podwyższenie ciśnienia dolotowego związane jest z powiększeniem strat wskutek upływu pary przez dławicę.



Rys. 12. Praktyczne granice dla wyboru parametrów pary dolotowej w turbinach

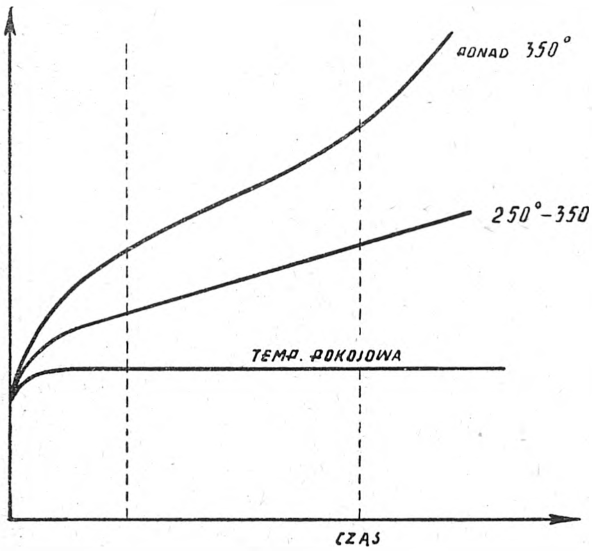
Jeśli uwzględnimy wymieniony wyżej warunek co do największej dopuszczalnej wilgotności pary wylotowej, a dalej ciśnienie możliwe do uzyskania w skraplaczu przy chłodzeniu świeżą wodą rzeczną 0,04 ata, a przy chłodzeniu wodą w obiegu zamkniętym 0,07 ata oraz tę okoliczność, że techniczne wykonanie współczesnych turbin pozwala na uzuskanie sprawności wewnętrznej (odpowiednik indykowanej w maszynie tłokowej) w granicach od 0,80 do 0,85, to okaże się, że zakres wyboru parametrów pary dolotowej jest bardzo wąski i zawiera się w granicach trójkąta ABC dla ciśnienia w skraplaczu 0 04 ata oraz trójkąta A'B'C' dla ciśnienia w kondensatorze 0,07 ata (rys. 12).

Wprowadzenie podwyższonych parametrów pary dolotowej w energetyce celem podniesienia sprawności ogólnej cyklu termicznego jest ściśle związane z osiągnięciami metalurgii w dziedzinie produkcji materiałów, które jednocześnie są odporne na wysokie temperatury i jednocześnie posiadają bardzo dobre własności wytrzymałościowe. Z takich materiałów musi być wykonana nie tylko część wysokoprężna turbiny: kadłuby, zawory i wirniki, lecz również rurociąg parowy łączący kotłownię z maszynownią, przegrzewacze kotłów i armatura parowa.

W konstrukcjach maszynowych dopuszczano dawniej naprężenie, które określało się jako ułamek wytrzyma-

łości na rozerwanie. W technice turbinowej, gdzie elementy maszyny pracują w bardzo trudnych warunkach pod względem naprężeń, stosowano od dawna przy obliczeniach wytrzymałościowych jako punkt wyjściowy granicę sprężystości metalu; w stosunku do niej zakładano współczynnik pewności od 2 do 2,5 i w ten sposób określano naprężenie dopuszczalne.

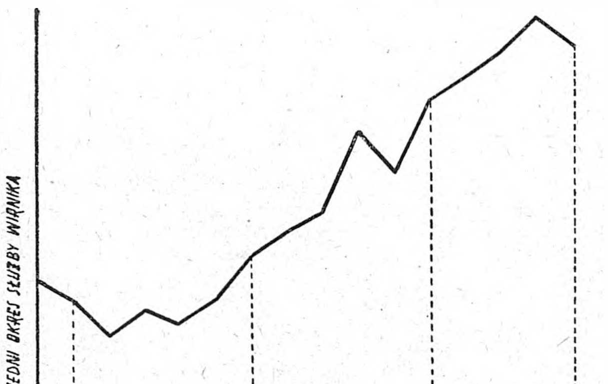
Przed 10—20 laty wyjaśniło się że istnieje jeszcze jeden czynnik, który w obszarze wysokich temperatur jeszcze bardziej obniża naprężenie dopuszczalne.



Rys. 13. Ostateczna trwała deformacja metalu pod działaniem trwałego obciążenia w różnych temperaturach

Metal przy długotrwałej pracy pod obciążeniem, szczególnie w wysokiej temperaturze, uzyskuje nawet przy naprężeniach mniejszych od granicy sprężystości ostateczną deformację, która trwale i stopniowo powiększa się z czasem, a w końcu doprowadzić może do zniszczenia elementu. Zjawisko to nazywa się płynięciem metalu (niekiedy mówią „pełzaniem"), po angielsku „creep" (rys. 13).

Do badania wytrzymałości na płynięcie brak jeszcze norm ustalonych. Ostatnio panuje pogląd, że ekstrapolacja z kilkudziesięciogodzinnej próby nie daje dostatecznie pewnych wyników i w Szwecji na przykład przy badaniach na płynięcie próbki pozostają w stanie naprężonym w wysokiej temperaturze od 1000 do 3000 godzin. W Niemczech wprowadzono pojęcie wytrzymałości długotrwałej (Dauerstandfestigkeit).



Rys. 14. Wzrost z biegiem czasu (1924—1939) średniego okresu pracy turbiny aż do pierwszego zarejestrowanego wypadku

Jest to naprężenie, przy którym po 25 do 35 godzinach prędkość płynięcia wynosi ok. 10^{-4}% na godzinę. Naprężenie robocze w części maszynowej przyjmuje się w wysokiej temperaturze ok. 0,3—0,6 wytrzymałości długotrwałej. Otrzymamy wtedy prędkość płynięcia 10^{-7} mm/mm. h.

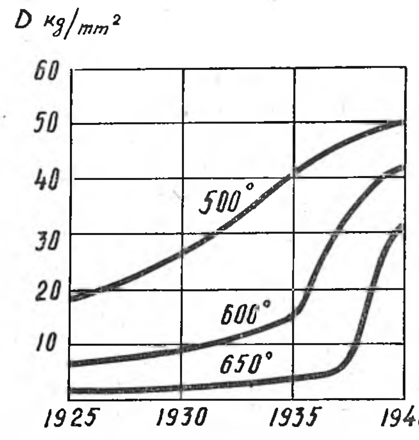
Według badań szeregu firm turbinowych okazało się, że proces ten nie zatrzymuje się, dopóki metal jest w stanie naprężenia. W wysokich temperaturach proces potęguje się jeszcze i może doprowadzić w turbinie do nieszczelności, zatarć i poważnych uszkodzeń.

Poznanie tego zjawiska wyjaśniło szereg ciężkich wypadków turbinowych i wniosło nowe metody w obliczanie i konstruowanie turbin, co z kolei przyczyniło się do poprawy pewności ruchu i przedłużenia średniego czasu pracy turbiny bez wypadku. Rys. 14 pokazuje przebieg średniego okresu pracy turbiny aż do pierwszego zarejestrowanego wypadku na przestrzeni od 1924—1939 r. na podstawie sprawozdań z 1939 r. Edison Electric Institute. Pięciolecie od 1925 do 1930 r. było okresem wprowadzania nowych mocy, szybkiego rozwoju energetyki USA, produkowania coraz to większych jednostek turbinowych, a jednocześnie było okresem najgorszym pod względem wypadków. Przeprowadzane w tymże okresie badania wytrzymałościowe nad zjawiskiem płynięcia metalu pozwoliły szybko wyjść technice budownictwa turbinowego z krótkotrwałych trudności.

Według Baumana dopuszczalne prędkości płynięcia określane dla różnych elementów urządzeń siłowni są następujące:

wirniki turbinowe	10^{-8}	mm/mm. godz.
cylindry turbinowe	10^{-8}	„
rurociągi parowe	10^{-7}	„
rury przegrzewaczowe	10^{-6}	„

Odpowiada to ostatecznej deformacji po upływie 10 lat od 0,01% do 10%.



Rys. 15. Poprawa własności wytrzymałościowych stali w okresie od 1925 do 1940 r. (D — wytrzymałość długotrwała)

Na rys. 15 pokazane są krzywe charakteryzujące postępy metalurgii w dziedzinie stali szlachetnych, wytrzymałych na wysokie temperatury, w okresie od 1925 do 1940 r.

Własności wytrzymałościowe stali podnoszą się przez dodawanie do niej domieszek innych metali, powodujących zmianę struktury stali i jej właściwości. Wytrzymałość stali podwyższa się przede wszystkim domieszką niklu molibdenu, wanadu i chromu. Wytrzymałość w wysokich temperaturach podnosi prócz wyżej wymienionych również domieszka wolframu. Odporność na zendrowanie zwiększa domieszka aluminium, chromu i krzemu, odporność na korozję oraz dużą wytrzymałość na zmęczenie uzyskuje się przez dodanie chromu i niklu.

Na wybór domieszek do stali stopowej wpływają następujące czynniki: a) wielkość domieszki koniecznej dla uzyskania odpowiednich stali, b) koszt tej domieszki na jednostkę wagi gotowej części maszynowej z uwzględnieniem kosztów spowodowanych zmianą technologicznych procesów obróbki c) brak potrzebnego składnika.

Jeśli przyjąć koszt domieszki niklu w ilości 0 5% za równą 100%, to wartość również 0 5% innych domieszek stopowych stali można ocenić według przedwojennych źródeł niemieckich i radzieckich w następujący sposób:

Mn	Si	Cr	Ni	W	Mo	V	
7	17	44	100	122	242	780%	(Niemcy)
		36	100	390	270	1250%	(ZSRR).

Aby ocenić względny koszt różnych stali stopowych, należy uwzględnić iloczyn z przemnożenia zawartości do-

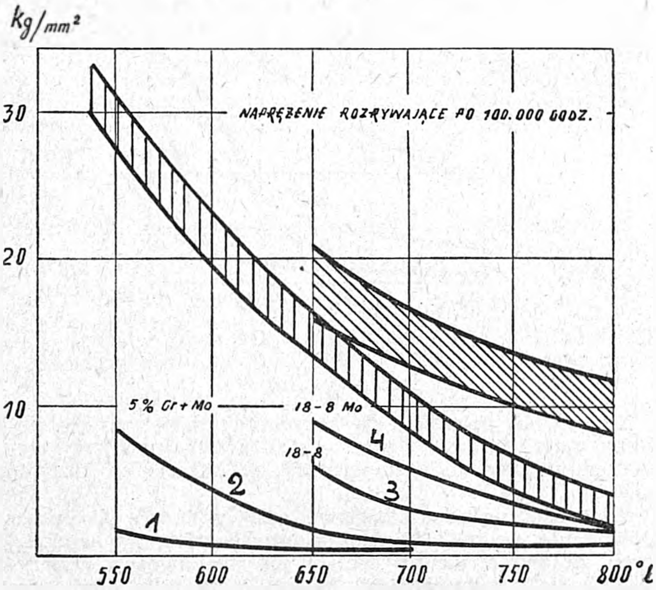
mieszki przez jej wartość. Molibden dlatego znalazł tak szerokie zastosowanie pomimo swej względnej drożyzny, że poprawę własności stali uzyskuje się niewielką jego domieszką. Na wartość samego wyrobu ze stali stopowych wpływa prócz tego w znacznym stopniu koszt obróbki i podrożenie procesów technologicznych.

Stosunkowy koszt rur gotowych w zależności od materiału jest według firmy Timken USA taki, jaki podaje tablica III.

Tablica III. Zależność kosztu rur od materiału

	Stal węglista	Stal molibdenowa	Stal chromo-molibdenowa	Stal chromo-niklowa
Domieszki stopowe w %	—	0,5 Mo	6 Cr + 0,5 Mo	18 Cr + 8 Ni
Koszt względny na jednostkę wagi	1	1,4	3,1	11

Amerykańskie stale wysokogatunkowe charakteryzuje duża procentowa zawartość domieszek uszlachetniających. Stali tych jest kilkadziesiąt rodzajów. Stopy amerykańskie przednie (superalloys) używane z normalną obróbką termiczną zawierają około 20% Cr; mogą one posiadać podstawę żelazną (ok. 50% Fe), niklową (40 do 70% Ni) lub kobaltową (30—40% Co); zawierają one od kilku do kilkunastu procentów molibdenu. Wytrzyma-



Stopy amerykańskie przednie (superalloys)
„ kobaltowe na odlewy
Dawne stale:
1 — stal węglista
2 — „ chromo-molibdenowa (5% Cr + Mo)
3 — „ chromo-niklowa (18% Cr + 8% Ni)
4 — „ chromo-niklowo-molibdenowa (18% Cr + 8% Ni + Mo)

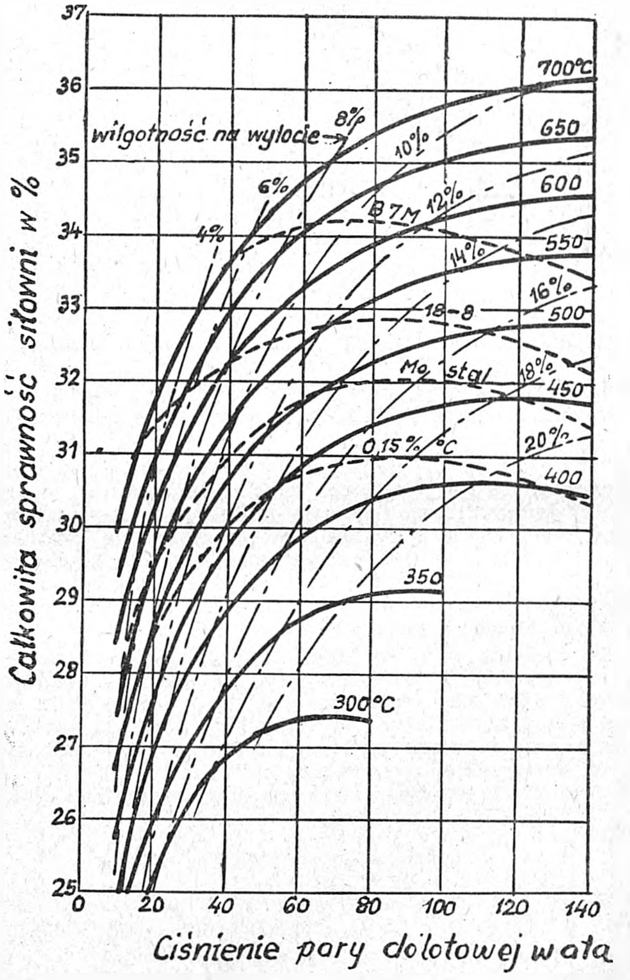
Rys. 16. Własności wytrzymałościowe amerykańskich stali w wysokich temperaturach

łość na rozrywanie dochodzi do 11 800 kg/cm², w temperaturze pokojowej wydłużenie wynosi 20%, wytrzymałość przy 650° C wynosi 8 500 kg/cm². Dla stopu tego rodzaju o składzie Fe 4%, Cr 20%, Ni 30%, Co 43% wytrzymałość długotrwała na płynięcie po 1 000 godzinach przy 650° C wynosi 3 500 kg/cm².

Na odlewy specjalnie wytrzymałe na wysokie temperatury stosuje się w USA stopy bezżelazowe o składzie mniej więcej 0 — 1% Fe, 28% Cr, 10 — 30% Ni, 40 do 60% Co oraz do 6% Mo lub W. Wytrzymałość na płynięcie tych stopów w temperaturze 800° C waha się od 1250 do 1650 kg/cm² po 1000 godz. obciążenia, wówczas gdy dla stali chromo-niklowej (18% Cr, 8% Ni) wynosi 480 kg/cm², a dla niskostopowej stali chromowej ok. 105 kg/cm². Własności wytrzymałościowe amerykańskich stopów przednich w wysokich temperaturach pokazane są na rys. 16.

Niemieckie stale stopowe znacznie ustępują amerykańskim i brytyjskim, gdyż szereg domieszek (Ni, W, Mo i Cr) próbuje się w nich zastąpić o wiele tańszym manganem.

Dla zilustrowania zależności ogólnej sprawności siłowni cieplnej od własności wytrzymałościowych stali stopowych przy wysokich temperaturach warto przytoczyć wykonane przez O. Wiberga wykresy.



Rys. 17. Zależność ogólnej sprawności siłowni cieplnej przy jednostkach o mocy 100 MW od parametrów początkowych pary oraz od własności wytrzymałościowych stali stopowych

Na rys. 17 pokazane są sprawności ogólne takiej siłowni z turbozespołem o mocy 100 MW w zależności od parametrów początkowych pary. Sprawność ogólna uwzględnia wszystkie sprawności poszczególnych elementów siłowni oraz spożycie własnych potrzeb; ciśnienie w skraplaczu przyjęto 0,035 ata, turbina posiada możliwie najwyższą sprawność termodynamiczną i pięciostopniowy międzystopniowy podgrzewacz skroplin. Dodatkowe krzywe pozwalają określić dla każdego punktu wilgotność pary i materiał właściwej wytrzymałości.

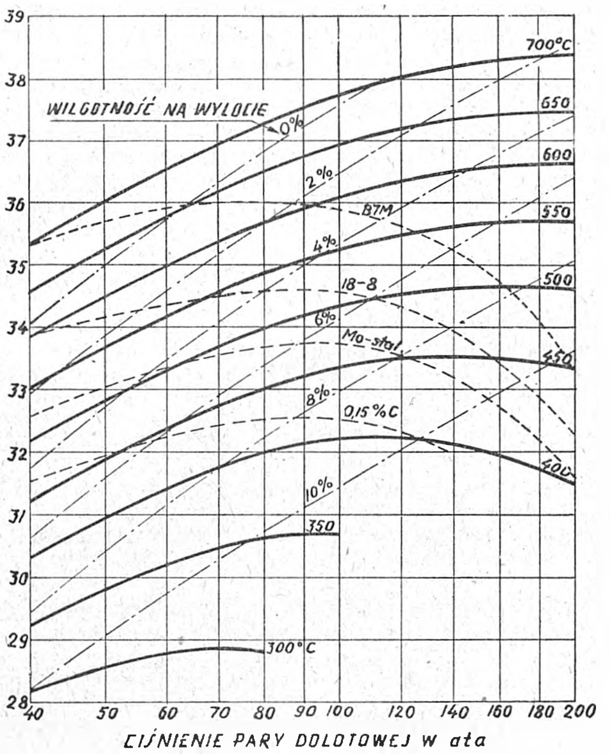
Na rys. 18 podany jest taki sam wykres dla siłowni identycznej, lecz z zastosowaniem jednego międzystopniowego przegrzewu pary.

Materiał podany na wykresie dotyczy rur przegrzewacza pary, jako elementu narażonego w całym urządzeniu kotłowym na najwyższą temperaturę i pełne ciśnienie.

Przegrzewacz parowy jest typu konwekcyjnego; temperaturę metalu przyjęto o 65° C wyższą od temperatury

pary wlatującej do turbiny; wytrzymałość na płynięcie przyjęto 10^{-5} % na godzinę.

Z wykresu na rys. 17 widzimy, że przy zastosowaniu zwykłej stali węglistej (0,15% C), jako materiału kon-



Rys. 18. Zależność sprawności siłowni od parametrów pary i wytrzymałości materiału, jak na rys. 17, lecz przy zastosowaniu jednego międzystopniowego przegrzewu pary

strukcyjnego, można osiągnąć największą sprawność siłowni około 30% przy ok. 45 ata i 450° C. Przy użyciu zaś stali stopowej B7M, osiągnąć można sprawność około

kosztami zakładowymi. Od przyjętej sprawności ogólnej zakładu zależą poziom parametrów parowych, schemat cieplny i jakość zastosowanych maszyn, musi więc istnieć i bezpośredni związek pomiędzy sprawnością ogólną siłowni a kosztami zakładowymi.

W skomplikowanych procesach termodynamicznych siłowni parowej bierze udział szereg czynników bądź pozostających w obiegu zamkniętym, jak np. para i skropliny, bądź stale doprowadzanych i odprowadzanych z siłowni, jak woda chłodząca, paliwo, powietrze oraz spaliny — żużel i popiół.

Energia zużyta na transport tych czynników dla wszelkiego rodzaju urządzeń transportowych, pomp i wentylatorów stanowi główną część spożycia własnych potrzeb elektrowni.

Wraz z poprawą sprawności ogólnej obiegu (i zmniejszenia rozchodu ciepła na wyprodukowaną kilowatogodzinę) przez zastosowanie wyższych parametrów (ciśnienia i temperatury) oraz doskonalszych termodynamicznie maszyn (turbin), zmniejsza się ilość będących w obiegu czynników (węgla, powietrza, spalin i wody) na każdą wyprodukowaną kilowatogodzinę, a to wpływa wtórnie pomimo pewnego wzrostu pracy pomp zasilających na dalszą poprawę sprawności ogólnej siłowni przez zmniejszenie rozchodu energii na własne potrzeby elektrowni.

Tablica IV podaje według Schrödera ilości czynników, biorących udział w obiegach cieplnych elektrowni i obliczonych na jedną użytecznie wyprodukowaną kilowatogodzinę, w zależności od sprawności ogólnej elektrowni. W trzech przytoczonych przykładach siłowni parowych ciśnienia robocze mają się do siebie jak 3:1,5:1, natomiast praca pomp zasilających wypada z wymienionych wyżej powodów w stosunku 2,3:1,4:1.

Wagowe i objętościowe zmniejszenie ilości czynników występujących w obiegu siłowni spowodowane wyższą sprawnością ogólną obiegu, podwyższenie ciśnienia pary oraz dopuszczenie większych prędkości przepływu gazów, pary i wody w nowoczesnych rozwiązaniach pociąga za sobą zmniejszenie użytecznych przekrojów rurociągów parowych i wodnych, kanałów, turbin, palenisk, kotłów, kanałów dymowych, kominów, wydajności urządzeń do zawęglania i odpopielania, a co za tym idzie powoduje

Tablica IV. Jednostkowe ilości czynników biorących udział w obiegach cieplnych elektrowni i obliczonych na 1 kWh użytecznie wyprodukowaną w zależności od sprawności ogólnej elektrowni

L. p.		Jednostka	1		2		3	
				%		%		%
1	Sprawność ogólna siłowni netto	%	30,6	100	28,6	93	23,8	78
2	Parametry pary dolotowej	at/°C	110/490°		55/490°		35/435°	
3	Moc turbozespołów	MW	55		40		20	
4	Zużycie świeżej pary	m³/kWh	0,0943	100	0,233	247	0,374	395
5	Zużycie wody zasilającej	kg/kWh	3,22	100	3,82	119	4,2	130
6	Praca pomp zasilających	kWh/kWh	0,026	100	0,016	61	0,011	42
7	Ilość wody uzupełniającej	kg/kWh	0,048	100	0,076	160	0,126	263
8	Ilość skroplin	kg/kWh	2,45	100	2,88	118	3,35	137
9	Ilość wody chłodzącej	m³/kWh	0,172	100	0,201	117	0,235	137
10	Sprawność kotłów	%	85		85		80	
11	Wartość opałowa węgla	kcal/kg	2500		2500		2500	
12	Zużycie paliwa	kg/kWh	1,05	100	1,13	107	1,35	128
13	Nadmiar powietrza		1,5		1,5		1,5	
14	Zużycie powietrza (N)	m³/kWh	5,07	100	5,53	109	6,52	128
15	Ilość spalin	m³/kWh	9,23	100	10,1	109	12,4	134
16	Temperatura spalin	°C	180°		180°		180°	
	Rok budowy siłowni		1940		1940		1930	

Uwaga. Przyjęcie parametrów dolotowych na turbinie 110 ata i 490° C pociąga konieczność zastosowania przegrzewu międzystopniowego pary.

34% przy ok. 120 ata i 560° C. Dla obiegu z przegrzewem międzystopniowym pary sprawności największe przy odpowiednich materiałach dadzą się podnieść jeszcze odpowiednio do 36% dla stali B7M oraz do 32% dla stali węglistej.

5. Strona gospodarcza zagadnienia.

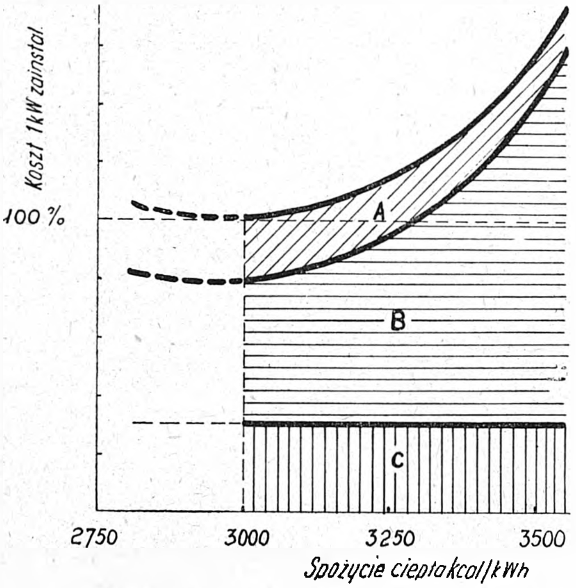
Postarajmy się teraz uchwycić zależność pomiędzy jednostkowym rozchodem ciepła na każdą wyprodukowaną kilowatogodzinę, czyli sprawnością ogólną siłowni, a jej

poprawę wszystkich ważniejszych techniczno-ekonomicznych wskaźników siłowni, obliczonych na 1 kW zainstalowany, a mianowicie: a) przestrzeni użytecznej zajętej przez urządzenia elektrowni (w m³/kW); b) zużycia metalu (w kg/kW) i wreszcie c) kosztów inwestycyjnych siłowni (w zł/kW), co wynika z dwu poprzednich punktów.

Oprócz wymienionych wyżej czynników, wpływających na obniżenie kosztów zakładowych siłowni o wyższych parametrach parowych, istnieją czynniki działające przeciwnie, w kierunku podwyższenia ilości czynni-

ka oraz podwyższenia jakości i ilości materiału, a zatem i kosztów zakładowych. Zastosowanie międzystopniowego podgrzewania skroplin parą zaczepową turbiny powiększa rozchód pary wysokoprężnej i wody zasilającej na każdą wyprodukowaną kilowatogodzinę, para ta nie dochodzi jednak do skraplacza i nie wymaga dodatkowej wody chłodzącej. Podwyższenie ciśnienia powoduje konieczność stosowania grubszych ścianek części będących pod ciśnieniem, podwyższenie zaś temperatury wymaga stosowania droższych materiałów (stali stopowych).

Wszystkie te czynniki, pod warunkiem nie przekroczenia jednak pewnych najkorzystniejszych wartości ciśnienia i temperatury pary dolotowej, działają znacznie wolniej i w mniejszym stopniu, niż wpływy wymienione poprzednio, tj. wagowe i objętościowe zmniejszenie czynni-



Rys. 19. Zależność kosztu 1 kW zainstalowanego od sprawności ogólnej siłowni

ków, tak że w wyniku koszta zakładowe racjonalnie zaprojektowanej siłowni przy podwyższeniu parametrów pary maleją.

Według Schrödera w pewnym konkretnym wypadku cena kotła na 64 at była o 6% wyższa, waga zaś w kg/kW o 7% większa niż kotła na ciśnienie 125 at (dla tej samej temperatury pary 500°), w razie zaś zastosowania przy wyższym ciśnieniu kotłów z wymuszonym obiegiem różnica ta powiększyłaby się na korzyść wyższego ciśnienia. Porównanie rurociągów parowych dla tego przypadku wykazało, że dla rurociągu na 64 at, w porównaniu z rurociągiem na 125 at, średnica jest o 70% większa, waga na 1 m. b. o 18% większa, cena na 1 m. b. również o 18% wyższa (materiały w obu wypadkach takie same), cena zasuwy parowej o 50%, połączenia spawanego o 24% wyższa niż dla 125 at.

Z drugiej jednak strony zastosowanie 125 at i temperatury przegrzania 500° nieuchronnie prowadzi do zastosowania przegrzewu międzystopniowego pary ze względu na nadmierną wilgotność pary na niskoprężnych stopniach turbiny, co znów niweluje w dużym stopniu korzyści gospodarcze z podwyższenia ciśnienia w stosunku do ciśnienia 64 at. Podwyższenie ciśnienia powoduje dodatkowe podrożenie innych elementów siłowni, np. pomp zasilających.

Porównanie dwu poszczególnych przypadkowo dobranych rozwiązań siłowni o różnych parametrach pary i uogólnienie tych wyników może doprowadzić do zupełnie fałszywych wniosków.

Dla otrzymania wyników prawidłowych należy nader ostrożnie przeanalizować zmianę kosztów poszczególnych części elektrowni w zależności od zmian parametrów pary.

W tym celu koszty poszczególnych elementów elektrowni najdogodniej jest podzielić na następujące trzy grupy:

Grupa A: elementy elektrowni o kosztach zmiennych zależnych od parametrów pary; należą tu części kotłów będące pod wysokim ciśnieniem, jak wysokoprężne części turbin, pompy zasilające, rurociągi parowe i rurociągi wody zasilającej wraz z armaturą.

Grupa B: części siłowni o kosztach zmiennych, nie zawierające jednak elementów będących pod wysokim ciśnieniem. Należą tu części instalacji niskiego ciśnienia, urządzenia obiegu wody chłodzącej i uzupełniającej, części kotłów nie będące pod ciśnieniem, kominy, filtry, urządzenia do transportu i przygotowania paliwa, usuwanie żużla oraz cała część budowlana.

Grupa C: elementy bardzo mało zależne lub zupełnie niezależne od parametrów parowych; będą to części elektryczne, generator, rozdzielnie główne i własnych potrzeb, nastawnie cieplne i elektryczne, warsztaty, składy, biura, tory, place, kolonie mieszkalne itp.

Koszt urządzeń należących do grupy A rośnie wraz z podwyższaniem parametrów pary (ciśnienia i temperatury). Koszt urządzeń należących do grupy B maleje szybko w miarę podwyższania sprawności całej siłowni, a to głównie z powodu zmniejszenia ilości czynników będących w obiegu. Koszty urządzeń należących do grupy C są niemal stałe.

W miarę podwyższania sprawności całej siłowni ogólny koszt jednego zainstalowanego kW maleje, udział procentowy kosztów urządzeń z grupy A znacznie rośnie, dochodząc przy wysokich ciśnieniach do 20% kosztów zakładowych siłowni.

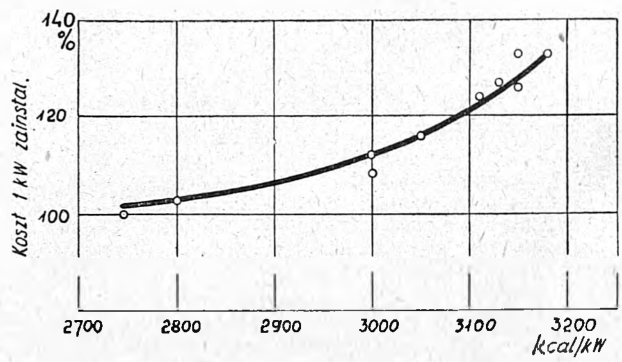
Rys. 19 ilustruje prawdopodobny przebieg zmiany tych wartości w funkcji spożycia ciepła ną 1 kWh wyprodukowaną.

Słuszność powyższych rozważań ilustruje krzywa na rys. 20, podająca koszt na 1 kW zainstalowany dziesięciu wielkich elektrowni, wybudowanych w Niemczech w latach 1938—1942, na ciśnienia od 64 at do 140 at.

Na podstawie powyższych wywodów możemy stwierdzić, że stosowanie wyższych parametrów pary jest z ekonomicznego punktu widzenia podwójnie uzasadnione: oprócz obniżenia spożycia paliwa zyskujemy oszczędność na kosztach inwestycyjnych; d o b r z e z a p r o j e k t o w a n a, s p r a w n i e j s z a s i ł o w n i a p o w i n n a b y ć j e d n o c z e ś n i e t a ń s z a n a 1 kW m o c y z a i n s t a l o w a n e j.

Oczywiście, istnieje tu granica i obniżanie jednostkowych kosztów zakładowych przez podwyższanie sprawności ogólnej elektrowni ustanie przy pewnych parametrach parowych, przy dalszym zaś podwyższaniu sprawności elektrowni koszty zakładowe zaczną znowu wzrastać.

Jeśli przedstawić koszty zakładowe elektrowni w zł/kW mocy zainstalowanej w funkcji sprawności ogólnej, czyli



Rys. 20. Koszty zakładowe dziesięciu wielkich niemieckich elektrowni o ciśnieniu 64—140 ata, uruchomionych w latach 1938—42, w zależności od ich sprawności

zużycia ciepła na 1 kilowatogodzinę wyprodukowaną użyteczną, to krzywa będzie posiadała pewne minimum (rys. 21). Ten przebieg krzywej kosztów zakładowych wyjaśniają zupełnie rozważania przytoczone wyżej: podwyższenie sprawności powoduje zmniejszenie ilości czynników będących w obiegu, a więc i zmniejszenie czynnych przekrojów urządzeń; jednocześnie stosowanie wyższych temperatur i ciśnień pociąga za sobą konieczność stosowania droższych materiałów.

Przy obecnym wysokim poziomie techniki metalurgicznej różnice w cenie między niskostopowymi stalami dla 500° C zwykłymi i stalami węglistymi nie są wielkie i zasadniczym czynnikiem wpływającym na obniżkę kosztów zakładowych siłowni jest zmniejszenie wag i objętości urządzeń.

Przy zastosowaniu jednak jeszcze wyższych ciśnień i temperatur, wymagających już wysokoprocentowych stopów stalowych, znacznie droższych na wagę i kosztowniejszych ze względu na obróbkę, koszta zakładowe będą znowu wzrastać.

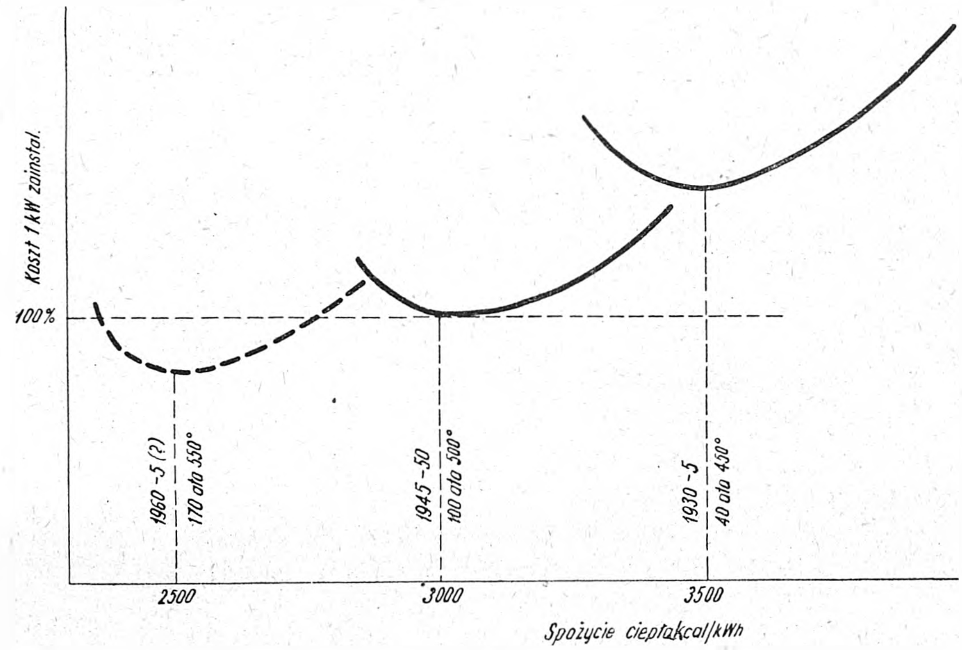
Położenie minimum kosztów określone jest postępem w dziedzinie metalurgii, a mianowicie możliwością otrzymywania stali tanich, łatwoobrabialnych, wytrzymałych na płynięcie w wysokich temperaturach. W miarę postępu metalurgii w tej dziedzinie najkorzystniejsze gospodarczo parametry pary można będzie dalej podwyższać. W

Warto zaznaczyć, że do końca 1950 r. ma być uruchomiona w ZSRR instalacja próbna w skali przemysłowej na ciśnienie 170 ata i 550°C, jednocześnie zaś prowadzone są prace nad wprowadzeniem jeszcze wyższych parametrów pary. Korzyści na zużyciu paliwa przy stosowaniu wyższych parametrów pary szacowane są przez Radziecki Centralny Instytut Naukowy Budowy Kotłów i Turbin (przyjmując jako podstawę obliczenia instalację o parametrach 100 ata i 500°C) w następujący sposób:

przy 170 ata i 550°C oszczędność 6,5%,
„ 170 ata „ 600°C „ 8,5%,
„ 250 ata „ 600°C „ 10 %,
„ 300 ata „ 600°C „ 11 %.

Efekt ten może się jednak okazać w praktyce daleko mniejszy choćby ze względów poruszonych w rozdz. 2.

Gama wielkości jednostek turbinowych w USA jest daleko szersza. Wychodząc z wyżej wspomnianych założeń wilgotności końcowej pary i wielkości strumienia pary Standard USA proponuje następujące parametry pary dolotowej:



Rys. 21. Zmiana z biegiem czasu kosztów zakładowych elektrowni w związku ze zmianą parametrów pary i sprawności siłowni

obecnym stanie rozwoju techniki optimum znajduje się gdzieś pomiędzy 70 a 110 ata przy 500°—525°C.

Krzywe jednostkowych kosztów zakładowych w funkcji sprawności ogólnej zakładu w miarę postępu techniki będą osiągały coraz to niżej położone minimum, przesunięte do obszaru wyższych parametrów pary, a więc lepszych sprawności ogólnych obiegu. Rys. 21 ilustruje tendencję zmiany kosztów zakładowych elektrowni w miarę postępu techniki.

6. Normalizacja parametrów parowych wielkich siłowni w obcych krajach.

Ogromne tempo budownictwa energetycznego postawiło przed przemysłem urządzeń energetycznych zagadnienie poważnego zwiększenia produkcji. Ta okoliczność, a także konieczność uproszczenia montażu oraz korzyści eksploatacyjne wpłynęły na szeroko przeprowadzoną na całym świecie normalizację mocy turbinowych oraz parametrów wlotowych pary.

Dla turbin kondensacyjnych o przepływie pary ponad 100 t/h ustalono w ZSRR ciśnienie 90 ata przy 480°C. Tylko typy 50 i 100 MW wykonane są całkowicie bez odbiorów pary; mniejsze turbiny na 12 i 25 MW przy tych samych parametrach pary wykonane są z odbiorem pary takiej wielkości, że przepływ przez część wysokoprężną turbiny jest nie mniejszy od 100 t/h.

Dla nowych elektrowni budowanych w okresie pięciolecia powojennego stosuje się powszechnie parę na 100 ata i 500°C za przegrzewaczem. Przejście na te parametry w porównaniu ze stosowanymi do końca wojny 29 ata i 400°C daje oszczędność paliwa do 15%. Dla lepszego uzmysłowienia sobie tej różnicy można wykonać proste przeliczenie, które wykaże, że turbina o mocy 100 MW może oszczędzić w ciągu roku blisko 50 000 ton węgla o wartości opałowej 6 000 kcal/kg.

moc	przepływ pary	ciśn.	temp.
10—15 MW	80 t/h	45 ata	440°C
20—25 „	130 „	60 „	480°C
pow. 35 „	180 „	60 „	480°C
		lub 88 „	lub 510°C.

Wyższa temperatura proponowana jest dla turbin przeciwprężnych instalacji czołowych.

Uporządkowane dane dotyczące 82 elektrowni o łącznej mocy 3 500 MW, budowanych i projektowanych w ciągu roku 1946/47 w USA, dają zupełnie określony obraz tendencji panujących w tym kraju w sprawie wyboru parametrów pary.

Najbardziej uprzywilejowana jest temperatura 480 do 510°C; taką temperaturę posiadało około 40% wszystkich instalacji. Na temperatury 400°, 450° i 535° przypada po jakieś 10%, najwyższe temperatury sięgają 570°.

Co do ciśnień widoczne są trzy grupy najchętniej stosowanych wielkości:

40—50 at około 15% instalacji,
55—65 „ „ 40% „
85—95 „ „ 15% „

W Wielkiej Brytanii według 19 rocznego raportu CEB plan na 1946—1950 r. przewiduje budowę 5 600 MW nowej mocy, na co złoży się głównie uruchomienie 10 wielkich elektrowni cieplnych o mocy od 100 do 500 MW.

Najbardziej rozpowszechnione będą parametry 42 at (600 lbs) i 453°C (850°F). Z tymi parametrami pary będzie zainstalowanych 80 turbozespołów o łącznej mocy 3 000 MW; na ciśnienie 63 ata (900 lbs) oraz 482°C (850°F) 42 turbozespoły o mocy 2 340 MW i tylko 6 zespołów będzie na 85—100 ata o łącznej mocy 350 MW, co stanowi tylko 6% mocy planowanej do zainstalowania w tym okresie.

Co się tyczy wielkości jednostek turbinowych najchętniej stosowanych w Wielkiej Brytanii, to podobnie jak w USA najbardziej rozpowszechnione są jednostki na 60 MW (przypada na nie 2/3 mocy zainstalowanej) oraz jednostki na 30 MW obejmujące 25% całej mocy przewidzianej do zainstalowania w planie 5-letnim.

W Szwajcarii (BBC) szereg mocy turbin kondensacyjnych dobrany jest pod kątem widzenia potrzeb eksportowych (kolejne stopnie wzrastają mniej więcej o 25%): 10 — 12 — 16 — 20 — 25 — 32 — 40 — 50 — 64 — 84 — 100 MW.

Parametry normalne proponowane są następujące:

36 ata	435°C	100 ata	550°C
71 ata	485°C	140 ata	600°C

We Francji i Belgii przyjęto następujące parametry pary dolotowej:

moc	ciśnienie	temp.
25 MW	65 ata	500° (440°)
50 MW	65 ata	500° (440°)
100 MW	90 ata	520°

Temperatura 440°C zalecana jest dla siłowni rezerwowych oraz szczytowych przy częstym rozruchu maszyn.

Czechosłowacja posiada duże osiągnięcia w dziedzinie opanowania wysokich ciśnień i temperatur. W ciepłowni w Brnie, w Trzebowicach, w Pradze już od 1930 roku pracują instalacje wysokiego ciśnienia. Przy nowych budowach i rozbudowach przyjmuje się ciśnienie 80—85 ata oraz 500°; w niektórych wypadkach idzie się jeszcze wyżej, np. przy rozbudowie ciepłowni w Brnie przyjęto ciśnienie 100 ata i temp. 530°C.

7. Parametry parowe stosowane w Polsce.

W Polsce przy rozbudowie zakładów elektrycznych stosowane są następujące parametry i moce, narzucone zresztą przez istniejące urządzenia:

Ślązel	64 (56)	at.	500° (480°), 2 × 45 MW
Miechowice	80 (68)	„	500° (490°), 4 × 55 „
Wałbrzych	129 (110)	„	500° (490°), 2 × 19 + 2 × 32 MW*)
Zabrze	64 (56)	„	500° (480°), 2 × 35 MW
Szombierki	64 (56)	„	500° (480°), 1 × 35 „
Elektro	85 (72)	„	500° (480°), 3 × 35 „

Przy realizacji dalszego wielkiego programu rozbudowy siłowni parowych Centralny Zarząd Energetyki pragnie stosować jednolicie następujące parametry parowe: koncesyjne ciśnienie na kotle 80 ata i 500°C za przegrzewaczem oraz ok. 68 ata i 485°C na wlocie do turbiny. Dla wszelkich elektrowni typu przemysłowego z mniejszymi jednostkami kotłowymi i turbinowymi 40 ata i 450°C na kotle oraz odpowiednio 35 ata i 435°C przy wlocie do turbiny.

Takie ujednostajnienie parametrów parowych stanowi ogromne udogodnienie dla przemysłu krajowego pracującego na potrzeby energetyki, a przede wszystkim dla hutnictwa, przemysłu kotłowego, produkcji armatur parowych oraz dla młodego, rozwijającego się obecnie w kraju przemysłu turbinowego.

Wybrane parametry parowe pozwalają na stosowanie w konstrukcjach kotłowych, rurociągach i armaturze łatwych technologicznie stali niskostopowych. Niewyśrubowane wysoko ciśnienie przy przegrzaniu 485°C stwarza pomyślne warunki wilgotności pary w ostatnich stopniach turbiny, dając pewną rezerwę konstruktorom turbinowym.

Przed naszym przemysłem hutniczym należy postawić zadanie wprowadzenia w skali przemysłowej produkcji stali o wymaganych charakterystykach techniczno-wytrzymałościowych na rurociągi i odlewy armatury parowej.

Przed przemysłem maszynowym należy postawić zagadnienie produkcji turbozespołów o mocy 50MW, kotłów odpowiedniej wydajności oraz wszelkich innych urządzeń wchodzących w skład wyposażenia nowoczesnej siłowni parowej.

8. Wnioski.

Trudno ustalić jakieś empiryczne formuły na określenie najodpowiedniejszych parametrów pary dla siłowni parowych, gdyż zależy to od wielu czynników często bardzo trudnych do uchwycenia, a przede wszystkim od poziomu cen na kotły, turbogeneratory i stale stopowe. Zależy to, ogólnie rzecz biorąc, od zasobów materiałowych kraju, od osiągniętego poziomu techniki oraz od pewnych ogólnych zadań gospodarki narodowej w danym okresie czasu. Można jednak stwierdzić:

1) Parametry pary przybliżają się obecnie do takich wielkości, że niewiele już można uzyskać przez dalsze ich podwyższanie; wydaje się, że wybrane obecnie zespoły będą znacznie dłużej ekonomiczne i uzasadnione, niż te, które wybrano lat temu kilkanaście.

2) Stosowanie wysokich ciśnień rzędu 70—100 ata oraz temperatury 500°C jest obecnie korzystne i całkowicie uzasadnione z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia, albowiem oprócz obniżenia spożycia paliwa zyskuje się oszczędność na kosztach inwestycyjnych: wielkie siłownie przy tych parametrach pary są tańsze na 1 kW zainstalowanej mocy, aniżeli siłownie tej samej mocy budowane na niższe ciśnienia i temperatury przegrzania pary.

3) Możliwość stosowania podwyższonych parametrów pary dolotowej uzależniona jest bezpośrednio od postępów metalurgii. Przemysł turbinowy i kotłowy na całym świecie rozporządzają obecnie tanim i dostępnym materiałem pozwalającym dopuszczać normalne robocze temperatury 480° — 500°. Temperatura 500° pozwala stosować jeszcze łatwospawalne stale niskostopowe z małą zawartością chromu. Ciśnienia nowobudowanych instalacji utrzymują się w dużej większości wypadków w granicach od 60 do 100 ata.

4) Nowoczesne konstrukcje turbinowe, dzięki ulepszeniom w kształcie samych łopatek oraz stosowaniu odpowiednich materiałów i konstrukcji drenujących, dopuszczają wilgotność pary w ostatnich stopniach turbiny nawet do 14—15%. Pozwala to na stosowanie ciśnień rzędu 100 ata bez międzystopn. przegrzewu pary.

5) Międzystopniowy przegrzew pary daje korzyść dzięki obniżeniu wilgotności pary w ostatnich stopniach turbiny, lecz jednocześnie komplikuje cały schemat cieplny siłowni. Układ ten stosowany był szeroko w Niemczech podczas ostatniej wojny, było to spowodowane jednak głównie względami ekonomiki wojennej. Z obecnych oględnych wypowiedzi radzieckiej prasy technicznej można raczej sądzić, że przemysł ZSRR nie jest nastawiony obecnie na stosowanie przegrzewu międzystopniowego, nawet przy bardzo wysokich ciśnieniach, lecz idzie w kierunku odpowiedniego podwyższenia temperatury. W pozostałych krajach europejskich układ ten nie jest stosowany. Przegrzew międzystopniowy może się jednak okazać korzystnym w pewnym szczególnym wypadku elektrowni ogrzewniczej z dużym odbiorem pary przy średnim ciśnieniu.

6) Największa sprawność siłowni kondensacyjnej przy bardzo daleko posuniętej próżni może osiągnąć 34%, a przy zastosowaniu jednego międzystopniowego przegrzewania pary nawet 36%. Wyniki te wskazują, że już raczej nie przez dalsze podwyższanie parametrów parowych prowadzi droga do poprawienia w skali państwowej ogólnej sprawności wyzyskania narodowych zasobów energii zawartej w paliwie. Można uzyskać to przez jak najszerszą koordynację gospodarki energetycznej w skali państwowej, gospodarki obejmującej całość procesów wyzyskania i przetwarzania energii cieplnej paliwa. Jednym z najbardziej skutecznych sposobów dla uzyskania tego celu jest najszersze wprowadzenie gospodarki sprzężonej, jak najszersze wyzyskanie pary, przerobionej w turbinach przeciwprężnych, do celów grzejnych, a mianowicie w ciepłowniach okręgowych, w centralnym ogrzewaniu całych dzielnic itp. Ogólna sprawność takiego układu daje się z łatwością doprowadzić do 60—65% i wyżej.

*) Przegrzew międzystopniowy.

LITERATURA

G. H. Martin. Prospects of the Steam Cycle in the Central Power Station. Combustion (luty, 1947).

K. Bauman. Improvements in Thermal Efficiencies with High Steam Pressures and Temperatures in Non — reheating Plant. Referat w Institution of Mechanical Engineers (listopad, 1944).

J. M. Rubinsztein. Tiepłowyje schemy elektrostancyj wysokowo dawlenia. Izwiestja WTI (listopad, 1947).

N. B. Warkaftig. Analiz tablic tiermodinamiczeskich swojstw wodianowo para. Izwiestja WTI (październik, 1947).

K. A. Rakow i N. L. Olwin. Wniedrenie para wysokich parametrow w eniergetikie SSSR. 1941.

G. B. Warren. Progress in Design and Performance of Modern Large Steam Turbines for Generator Drive. General Electric Review, 1947.

O. Wiberg. Economy of Heat Engines — a Material Problem (ASEA, March 1946).

M. Commissaire. Les Grandes Centrales Thermiques Américaines. La Technique Moderne (wrzesień, 1947).

H. Melan. Neuere Entwicklungen im Hochdruckturbinenbau. Elektrizitätswirtschaft (czerwiec, 1943).

K. Schäft. Die Zwischenüberhitzung. Wärmewirtschaft (maj 1938).

The BBC Review (nr 12, 1947; nr 1 i 2, 1948).

I. I. Kiryłłow i S. A. Kantor. Tieoria i konstrukcja parowych turbin. Moskwa, 1947.

A. M. Litwin. Tiechniczeskaja tiermodinamika. Gosenergoizdat, 1947.

E. I. Romm i Siemienkow. Kotielnyje ustanowki. Gosenergoizdat, 1946.

L. N. Rowley, B. G. Skrotzki. High — Temperature Metals. Power (październik, 1947).

L. Musil. Die Gesamtplanung von Dampfkraftwerken. Berlin, 1942.

K. Schröder. Planung und Gestaltung von Dampfkraftwerken. VDI, 1941-42.

T. Frank. Zapotrzebowanie własne dużych elektrowni parowych. Biuletyn Techniczny ZEZW, 1948, z. 2.

A. P. Drozdow. Woprosy standarizacji parowych turbin. Kotłoturbostrojenie (nr 2, 1948).

Biuletyny ECE — ONZ. Grupa energetyczna (styczeń i luty, 1948).

INŻ. W. FISCHER

Projekt ogólnokrajowego rozrządu elektroenergetycznego w Polsce*)

Treść. W Polsce będzie stworzony układ telekomunikacyjny, obejmujący samoczynną łączność telefoniczną, samoczynną łączność dalekopisową, przesyłanie wskazań wielkości energetycznych, samoczynne meldowanie na odległość stanu elementów układu energetycznego i sterowanie na odległość tymi elementami oraz kierunkowo-porównawcze zabezpieczenie linii wysokich napięć. Charakterystyka układu energetycznego w Polsce według stanu w 1947 r. oraz tendencje rozwojowe w wytwarzaniu i przesyle energii elektrycznej. Projektowany pierwszy etap realizacji telemetrii na potrzeby rozrządu. Ogólna charakterystyka meldowania stanu wyłączników według systemu Ericssona. Podział Polski na okręgi rozrządcze. Wyposażenie rozrządni. Projekt gmachu rozrządu okręgowego i centralnego w Katowicach. Zespoły zasilające urządzenia telekomunikacyjne wielkiej częstotliwości. Zakontraktowane terminy dostaw urządzeń rozrządczych.

Проскт общегосударственной диспетчерской установки в Польше. Будет создана система связи в следующем об'еме: автоматическая телефонная связь, автоматическая телеграфная связь (печатающие аппараты), передача значений энергетических величин, автоматическое уведомление на расстояние о положении элементов энергетической системы, управление этими элементами на расстояние, защита линий высокого напряжения. Характеристика энергетической системы в Польше за 1947 год и стремления к развитию производства и передачи электрической энергии. Проектируемая первая очередь осуществления телеметрической установки для нужд диспетчерской службы. Общая характеристика передачи уведомлений о положении выключателей по методу Эриксона. Подразделение страны на диспетчерские округи. Устройства диспетчерского пункта. Проект здания для окружного и главного диспетчера в Катовицах. Аггрегаты питающие телетехнические устройства высокой частоты. Договорные сроки доставки диспетчерских устройств.

Project of National Load Dispatcher System in Poland. A telecommunication system is to be adopted in Poland, comprising automatic telephone and teleprinter liaison, transmission of readings of power quantities, automatic distance reporting of the state of elements in the power system and remote control of such elements, as well as protection of transmission lines. Characteristics of the power sytem in Poland according to 1947 status and tendencies in the development of generating and transmitting of electric energy. Suggestions as to the first stage of realising the telemetry scheme for the requirements of the load dispatcher system. General features of reporting the position of circuit-breakers by the Ericsson method. Division of Poland into load dispatcher districts. Load dispatcher office equipment. Project of a building for the regional and national load dispatcher offices at Katowice. Units for feeding high frequency telecommunication equipment. Contract dates for the supply of load dispatcher equipment.

Projet d'un dispatching électrique national en Pologne. On prévoit la création d'un réseau de télécommunications, comprenant une liaison téléphonique automatique, une liaison par téléscripteurs (récepteurs-imprimeurs) automatique, la transmission des indications des grandeurs électriques, la transmission automatique à distance de l'état des éléments du résau de force et leur commande à distance ainsi qu'une protection des lignes à haute tension. Caractéristique des grands résaux électriques en Pologne en 1947. Tendances dans le développement de la production et de la transmission de l'énergie électrique. Projet de la première étape dans la réalisation de télémesures à l'usage du dispatching. Caracteristiques générales du contrôle de l'état des disjoncteurs d'après le système Ericsson. Partage de la Pologne en régions de dispatching. Équipement du dispatching. Projet du bâtiment du dispatching régional et central à Katowice. Groupes alimentants les installations de télécommunications à haute fréquence. Délais de livraison fixés des installations de dispatching.

1. Wstęp.

Rozrządca ogólnokrajowy może prawidłowo pod względem ruchowym i gospodarczym sterować układem elektroenergetycznym, a równocześnie sprawnie likwidować dość często wynikające zaburzenia ruchu wówczas, gdy ma do dyspozycji pewnie działającą aparaturę, informującą go możliwie bez opóźnień o stanie układu energetycznego, oraz dostatecznie dużą liczbę specjalnie wydzielonych dla rozrządu połączeń telefonicznych (dalekopisów) między rozrządniami dzielnicowymi.

Przewidywany znaczny rozwój polskiego układu energetycznego (wzrost mocy zainstalowanej z 1692 MW w 1939 r. poprzez 2 800 MW w 1950 r. do planowanych 4 400 MW na 1955 r.) wymaga szybkiego zrealizowania ogólnokrajowego rozrządu elektroenergetycznego. Scentralizowanie rozdziału obciążeń, narzucenie planów pracy poszczególnym siłowniom pozwoli wykorzystać je znacznie ekonomiczniej, a jednolite rozkazodawstwo ułatwi szybkie likwidowanie zaburzeń. Korzyści stąd wynikające zamortyzują prędko sumy zainwestowane w urządzenia rozrządcze.

Takie oszacowanie korzyści z rozrządu elektroenergetycznego słuszne jest, oczywiście, tylko w założeniu intensywnego rozwoju sieci najwyższych napięć, który stworzy możliwości racjonalnej wymiany mocy między okręgami (elektrowniami) oraz zrealizuje całkowitą wspólnotę rezerw.

*) Niniejsza praca jest uzupełnieniem artykułów prof. inż. W. Szumilina pod tyt. „Zadania i ustrój rozrządu elektroenergetycznego" (PE, 1948, z. 4/5, str. 92—109) oraz inż. H. Kühna pod tyt. „Urządzenia telekomunikacyjne dla potrzeb polskiej sieci energetycznej" (PE, 1948, z. 1/2, str. 28—41).

2. Zadania projektowanej komunikacji zdalnej.

Projektowana komunikacja zdalna odbywać się będzie na prądach nośnych wielkiej częstotliwości po liniach energetycznych najwyższych napięć. Dzięki niej będą osiągnięte:

a) całkowicie zautomatyzowana łączność telefoniczna między dowolnymi podstacjami sieci najwyższych napięć;

b) całkowicie zautomatyzowana łączność dalekopisowa między najważniejszymi punktami układu energetycznego tj. rozrządnią główną i rozrządniami okręgowymi, pozwalająca na dokumentalne meldunki i polecenia;

c) przesyłanie na odległość wskazań wielkości energetycznych (mocy, napięć, częstotliwości, ciśnień pary), ważnych dla służby rozrządczej; odpowiednie kojarzenie wielkości pozwoli automatycznie przedstawić dokładny przebieg szeregu funkcji, które bardzo trudno jest odtworzyć, nawet w przybliżeniu, na podstawie danych statystycznych; rejestrujące watomierze będą więc kreślić krzywe obciążeń poszczególnych okręgów rozrządczych i całej Polski, krzywe wymiany energii międzyokręgowej oraz krzywe eksportu energii za granicę; sporządzenie krzywej uporządkowanych obciążeń w przebiegu rocznym na podstawie tych dokumentów nie będzie już przedstawiało trudności;

d) samoczynne meldowanie na odległość stanu najważniejszych elementów układu energetycznego; głównie sygnalizacja położenia wyłączników, skomponowana w postaci schematu świetlnego sieci, stworzy rozrządcy możliwości

szybkiej i łatwej orientacji w schemacie połączeń całego układu energetycznego;

e) sterowanie na odległość elementami układu energetycznego (wyłącznikami, przełącznikami zaczepów transformatorowych pod obciążeniem itd.) łatwe w realizacji, jeśli meldunek stanu elementów (punkt d) oparty jest na systemie kontroli wstecznej;

f) kierunkowo - porównawcze zabezpieczenie linii wysokich napięć.

Zgodnie z zakresem niniejszej pracy będą dalej omówione na tle analizy polskiego układu energetycznego projekty, związane z punktami c, d, f, oraz zakres i terminy dostaw według udzielonych zamówień (w pierwszym etapie rozwoju centralnego rozrządu nie przewiduje się realizacji urządzeń, wymienionych pod e).

3. Charakterystyka układu energetycznego w Polsce (statystyka z 1947 r.) oraz jego tendencje rozwojowe.

a) Wytwarzanie energii elektrycznej odbywało się w siłowniach cieplnych i wodnych o łącznej mocy zainstalowanej 2284 MW; siłownie te rozbijamy przy analizie na cztery grupy:

A) o mocy zainstalowanej powyżej 20 MW;
B) o mocy zainstalowanej od 10 MW do 20 MW;
C) o mocy zainstalowanej od 1 MW do 10 MW;
D) o mocy zainstalowanej poniżej 1 MW.

Ostatniej grupy, na którą przypada mały procent ogólnej produkcji (poniżej 2%), nie rozważa się. Trzy pierwsze grupy zestawione są w tabl. I.

dla grupy, wykazują, że na ogół bardziej ekonomiczne siłownie cieplne pracowały jako podstawowe. Wyjątek stanowią elektrownie kopalniane, spalające niskokaloryczne odpadki węglowe (przerosty, miały, szlamy). Znaczną równomierność obciążenia ekonomicznych siłowni grupy A potwierdza rys. 1, ilustrujący przebieg roczny produkcji miesięcznej.

Grupa B obejmuje 27 siłowni wyłącznie cieplnych o średniej mocy zainstalowanej ok. 14 MW i udziale w wysokości ok. 17% w pokryciu ogólno-krajowego zapotrzebowania energii. Duża średnia wartość zużycia węgla na 1 kWh energii tłumaczy się dużą ilością (12) elektrowni kopalnianych w tej grupie, spalających niskokaloryczne odpadki węglowe. Tabl. II podaje w poz. 28 do 54 specyfikację oraz charakterystykę wyzyskania w 1947 r. elektrowni tej grupy.

Grupa C obejmuje 178 siłowni, wśród których jest znaczny procent siłowni wodnych; średnia moc elektrowni tej grupy wynosi ok. 3 MW, udział grupy w pokryciu ogólnokrajowego zapotrzebowania energii ok. 19%. Duży czas użytkowania mocy szczytowej oraz stosunkowo małe w porównaniu z grupą B zużycie węgla na 1 kWh przez elektrownie cieplne tej grupy tłumaczy się dużą liczbą elektrowni przemysłowych, wyzyskujących parę technologiczną.

Orzeczenie na podstawie powyższych danych i zestawień, o ile ekonomiczniej można by pokryć zapotrzebowanie energii w 1947 r., gdyby istniał zorganizowany rozrząd i dostatecznie rozwinięta sieć przesyłowa najwyższych napięć, jest niemożliwe przede wszystkim dlatego,

Tablica I. Charakter obciążenia trzech największych grup siłowni według statystyki 1947 r.

Grupa	Charakterystyka grupy	Liczba zakładów	Moc zainstalowana	Obciążenie szczytowe	Produkcja	Czas wyzyskania mocy szczytowej	Jednostkowe zużycie węgla
		szt.	MW	MW	mln. kWh	godz.	kg/kWh
A_c	P zainstal. $\geqslant$ 20 MW	26	1290 + 397	803,1	4158,9	5200	1,05
A_w	Rożnów	1	50	51,3	75,5	1500	—
A	Razem	*27*	*1340 + 397*	*854,4*	*4234,4*	*5000*	—
B_c	10 MW $\leqslant$ P zainstal. < 20 MW	27	367 + 39	245,3	1107,7	4500	1,57
B_w	"	—	—	—	—	—	—
B	Razem	*27*	*367 + 39*	*245,3*	*1107,7*	*4500*	—
C_c	1 MW < P zainstal. < 10MW	106	473 + 91	189,7	1058,8	5600	ok. 1,26
C_w	"	72	104	80,6	212,6	2600	—
C	Razem	*178*	*577 + 91*	*270,3*	*1271,4*	*4700*	—
$A_c + B_c + C_c$	P zainstal. > 1 MW	159	2130	1238,1	6325,4	5100	ok. 1,17
$A_w + B_w + C_w$	"	73	154	131,9	288,1	2200	—
A+B+C	Ogółem	*232*	*2284* + 527	*1370*	*6613,5*	*4800*	—

Oznaczenia wskaźników przy literach A, B, C: c — elektrownie cieplne, w — elektrownie wodne.
W czwartej rubryce liczby podane za znakiem + oznaczają moce już zamówione z różnymi terminami dostawy nie przekraczającymi jednak końca 1953 r.

Grupa A obejmuje 27 wielkich siłowni (26 cieplnych i 1 wodną) o średniej mocy zainstalowanej 50 MW i udziale w wysokości 63% w pokryciu ogólnokrajowego zapotrzebowania energii. Czas wyzyskania mocy szczytowej tej grupy (5000 godz.) niewiele przekracza ogólną średniówkę (4800 godz.), zużycie węgla na 1kWh wyprodukowaną jest znaczne (1,05).

Specyfikację elektrowni grupy A oraz charakterystykę ich wyzyskania w 1947 r. podaje tabl. II, poz. 1 do 27.

Widoczne jest doskonałe wyzyskanie zbiornikowej eletrowni wodnej Rożnów, jako szczytowej (czas wyzyskania mocy szczytowej 1500 godz.). Oznaczone krzyżykami wielkości zużycia węgla na 1 kWh oraz czasu wyzyskania mocy szczytowej, przekraczające średnie

że podane wielkości zużycia węgla nie są sprowadzone do tej samej wartości kalorycznej (np. 6000 cal/kg); poza tym dokonane zgrupowanie kojarzy elektrownie według wielkości ich mocy znamionowych, a przecież nie zawsze elektrownia większa jest ekonomiczniejsza od mniejszej.

b) Przesył energii elektrycznej w szerszym zakresie dla uzyskania lepszego współczynnika ekonomicznego produkcji możliwy był zaledwie w nielicznych przypadkach wskutek bardzo słabo jeszcze rozwiniętej sieci ogólnokrajowej najwyższych napięć, której stan na początku 1947 r. znany jest z licznych publikacji.

Liczba elektrowni pracujących synchronicznie była niewielka. Trzy główne układy elektrowni zsynchronizo-

Tablica II. Wyzyskanie w 1947 r. elektrowni o mocy zainstalowanej od 10 MW wzwyż (grupa A i B)

L. p.	Nazwa elektrowni	Moc zainstalowana	Obciążenie szczytowe	Produkcja	Czas wyzyskania mocy szczytowej	Zużycie węgla
		MW	MW	mln. kWh	godz.	kg/kWh
+ 1	Warszawa	77+15	52	206,8	3977	0,95
+ 2	Pruszków	14+25	13	38,8	2983	+1,16
+ 3	Łódź	91	53,6	227	4235	0,87
4	Częstochowa	21	8,7	37,7	4329	+1,30
+ 5	Stalowa Wola	40	19,8	72,9	3684	węgiel+gaz
+ 6	Będzin	40	22,4	82,3	3851	+1,25
+ 7	Ślązel	109+100	92	520,4	+5656	1,06
+ 8	Elektro	122+35	108,2	729,5	+6742	0,88
+ 9	Kraków	22	13,5	43.3	3214	+1,50
+10	Poznań (nowa)	35+30	29,4	115,9	3944	0,86
+11	Szombierki	63	48	315,4	+6571	0,83
+12	Zabrze	65+70	60	344,6	+5744	0,90
+13	Wałbrzych I	40	15,8	65,3	4134	+1,27
+14	Gdańsk	28	19,1	68	4609	0,83
+15	Wrocław	42	25	98,7	3949	+1,30
+16	Jaworzno I	39+80	14,5	66,9	4611	+2,31
+17	Św. Jerzy	43	22,2	128,7	+5798	1,51
18	Kazimierz Juliusz (kop.)	27	11,2	60,6	+5413	+2,18
+19	Emma (kop.)	24	9,8	57,6	+5876	węgiel+gaz
+20	Mikołaj (kop.)	33	12,0	56,1	4644	węgiel+gaz
+21	Jowisz (kop.)	32	17.8	93,2	+5238	+1,12
+22	Victoria (kop.)	105	44,9	250.8	+5587	węgiel+gaz
+23	Florian (hutn.)	51	21,5	114,3	+5318	węgiel+gaz
+24	Szczecin	36	15,2	59,8	3937	+1,27
+25	P.F.Z.A.Chorzów III	71+42	42	266,3	+6341	0,96
+26	Siemianowice II (kop.)	20	11,5	38,0	3308	+1,70
+27	Rożnów	50	51,3	75.5	1500	—
28	„Silesia" Czechowice	17	10,8	51,6	+4776	+2,96
+29	Ludwikowo	16+14	14,9	63,6	4270	1,24
+30	Skałeczno	10	10,8	47,5	4401	0,96
31	Kaławsk	16	7,4	30,3	4092	węgiel brunat. +kam.
+32	Białogard	14	11,4	46,6	4036	+1,91
+33	Elbląg	19	14.4	43,9	3046	1,12
34	Brzeszcze (kop.)	16	4,4	24,8	+5641	1,54
35	Czeladź (kop.)	10	6,5	28,2	4343	1,41
36	Grodziec (kop.)	11	7,3	34,3	+4695	+1,91
37	Katowice (kop.)	11	5,8	27,8	+4793	1,26
38	Wujek (kop.)	10	4,9	24,6	+5020	1,33
39	Modrzejów (kop.)	15	9,6	45,9	+4785	+1,58
40	Mysłowice (kop.)	11	4,3	23,8	+5527	+2,43
+41	Anna (kop.)	19	12.0	73,0	+6083	+2,02
+42	Siemianowice I (kop.)	12	12,0	60,0	+5021	+1,61
+43	Bydgoszcz-Jachcice	16+10	11,5	59,6	+5049	0,94
44	Mikulczyce (kop.)	12	7,1	32,5	+4579	+1,60
45	Biały Kamień (kop.)	16	8,2	41,3	+5039	+1,70
46	„Pokój" - Nowy Bytom (hutn.)	14	15,8	51,0	3227	węgiel+gaz
47	P. F. S. J. Nr. 1 Tomaszów Maz.	13	7,7	47,9	+6216	+2,08
+48	P. F. Z. A. Mościce	16	17,8	56,7	3183	węgiel+gaz
49	Fabryka Papieru Włocławek	16	5,5	36,5	+6635	0,57
50	Fabryka Papieru Myszków	19	9,9	39,1	+5968	1,30
51	Kop. „Gen. Zawadzki"	13	5,6	30,1	+5368	+2,19
52	Cement. Groszowice	10	7,3	39,0	+5336	1.44
+53	Gdynia I	10+10	7,5	12,5	1662	1,14
+54	Kalisz	5+5	4,6	16,2	3524	0,88

UWAGI DO TABLICY II

+ w rubryce „L. p." oznacza, że elektrownię włącza się już w pierwszym etapie do kategorii tych, na które rozciąga się sumowanie.

+ w rubrykach „czas wyzyskania mocy szczytowej" i „zużycie węgla na 1 kWh" oznacza liczby większe od średniówki całej grupy.

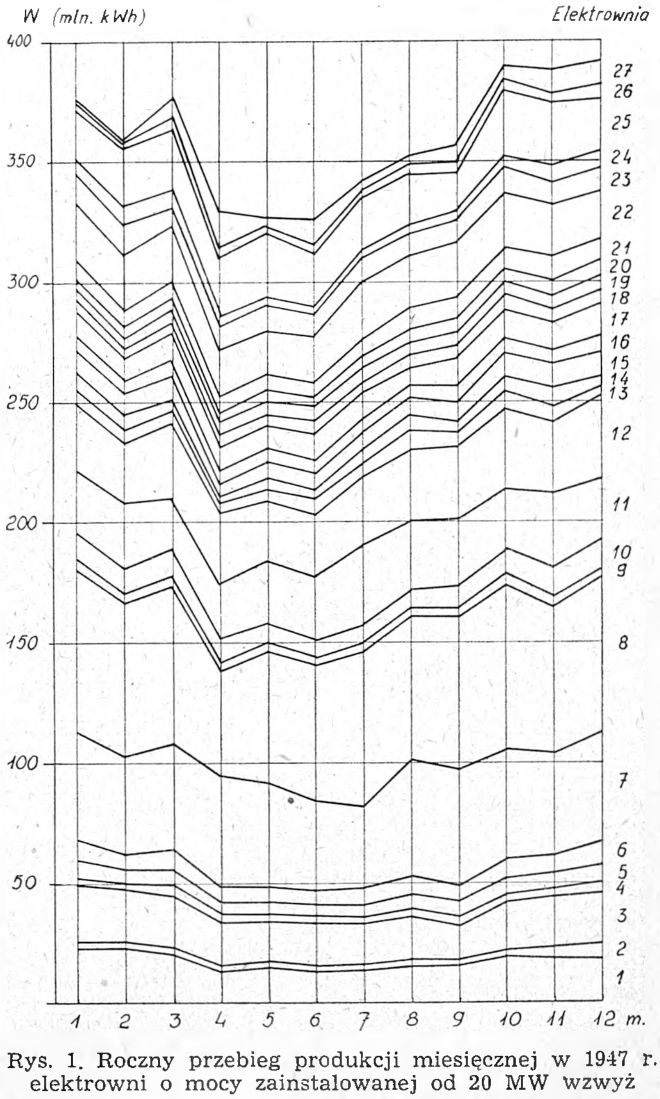
W trzeciej rubryce liczby podane po znaku + oznaczają moce już zamówione z różnymi terminami dostawy, nie przekraczającymi jednak końca 1953 r.

wanych (stan na koniec 1947 r.): Śląski, Dolnośląski i Wybrzeża były ze sobą niepowiązane i obejmowały 62% mocy zainstalowanej wytwórczej. Przesył większych mocy zrealizowany był na niewielu odcinkach (z Rożnowa na północ i zachód, z Górnego Śląska na wschód i pod koniec roku na północ).

Celem zilustrowania podstawy, którą powinien posiadać rozrządca do wstępnego planowania rozdziału obciążeń na siłownie w skali rocznej, podano przybliżoną krzywą całkową obciążeń za 1947 r. (rys. 2) [1]).

Z analizy powyższej krzywej wynika, że np. obciążenie 610 MW powyżej $P_{śr}$ predystynowane było do pokrywania przez elektrownie szczytowe z czasem wykorzystania mocy szczytowej średnio dla całej grupy 1350 godz.

Porównanie powyższych liczb z zestawieniem tabl. I wykazuje jasno, jak wiele jest jeszcze do zrobienia w tej



Rys. 1. Roczny przebieg produkcji miesięcznej w 1947 r. elektrowni o mocy zainstalowanej od 20 MW wzwyż

dziedzinie. Również z tabl. II wynika np., że czas wyzyskania mocy szczytowej w nieekonomicznej elektrowni w Częstochowie można by znacznie zmniejszyć, pokrywając podstawę zapotrzebowania energii z ekonomicznych elektrowni Górnego Śląska. Warto tu zazna-

[1]) Por. artykuł w niniejszym zeszycie prof. P. Nowackiego pod tyt. Metoda wykreślna obliczania rozdziału obciążeń.

czyć, że budowa połączenia sieciowego na napięciu 110 kV między Częstochową i pierścieniem śląskim jest na ukończeniu.

4. Projektowany pierwszy etap realizacji telemetrii dla celów rozrządu.

W pierwszym etapie zamierza się włączyć do układu telemetrycznego dla celów rozrządu:

a) moce czynne 35 wielkich elektrowni (25 z grupy A oraz 10 z grupy B);

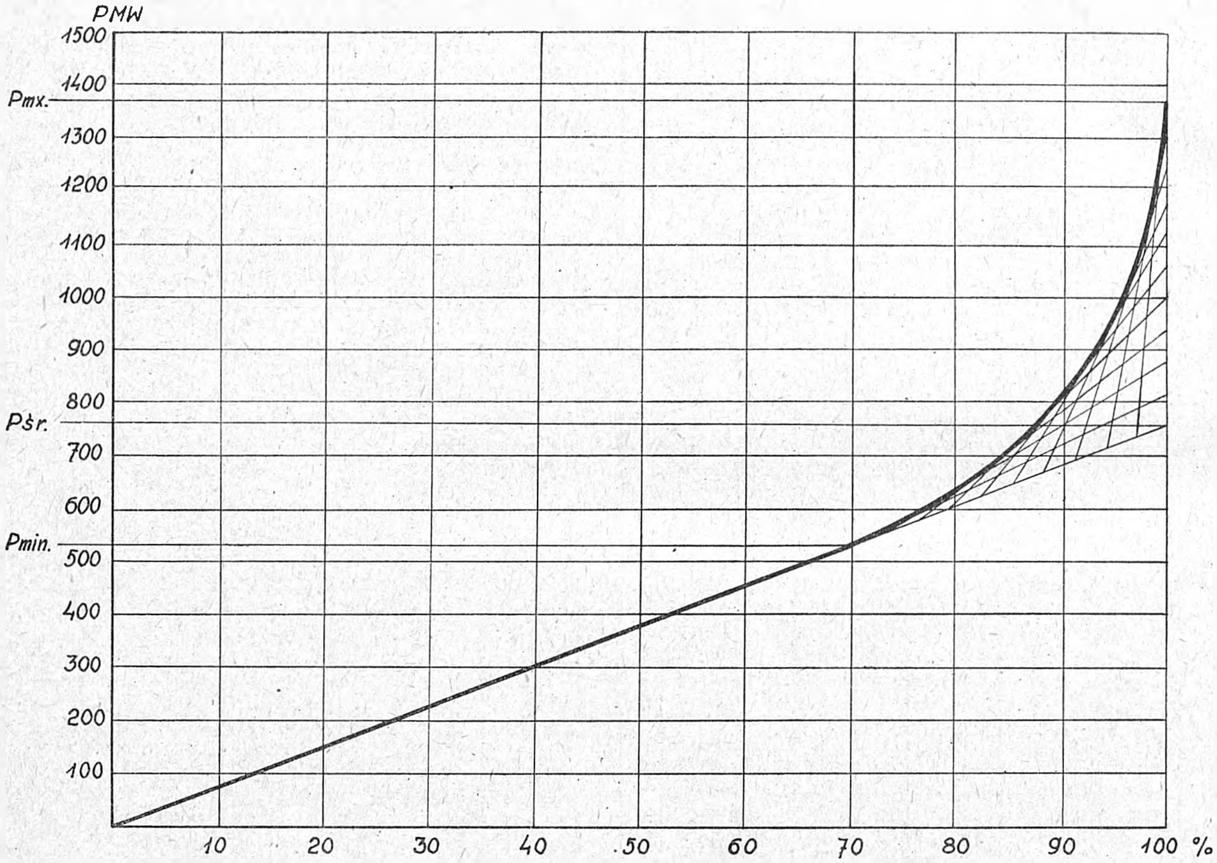
b) moce czynne w punktach wymiany między okręgami rozrządczymi oraz na liniach przesyłowych za granicę;

c) moce bierne 3-ch sieciowych kompensatorów synchronicznych (istniejącego w Starachowicach oraz projektowanych w Łodzi i w Warszawie);

d) dodatkowo dla Górnego Śląska moce bierne, ciśnienia pary oraz częstotliwości prądu ważniejszych elektrowni, moce czynne na ważniejszych liniach oraz napięcia na szynach największych podstacji.

35 wielkich elektrowni przewidywanych do włączenia na sumowanie wytwórczości odróżniono na rys. 3 krzyżykami. Numeracja zgodna jest ze specyfikacją tabl. II, gdzie również siłownie objęte w pierwszym etapie przez sumowanie oznaczono krzyżykami (przy liczbach kolumny „L. p."). Wytwórczość tych elektrowni stanowiła w 1947 r. 67% zapotrzebowania ogólnokrajowego. Ponadto przewiduje się rozciągnięcie sumowania z reguły na każdą nowopowstającą wielką siłownię, co będzie tym łatwiejsze, że leżeć one będą przy podstacjach na trasie sieci państwowej najwyższych napięć. Właśnie w pierwszym etapie realizacji telemetrii należy liczyć się z włączeniem elektrowni nowobudowanych, wyszczególnionych w tabl. IV.

Uwzględniając tę okoliczność, że telemetria może być, ze względu na dostawy aparatury, zrealizowana najwcześniej pod koniec 1953 r., w którym wielkie nowopowstałe (tabl. IV) i włączone do sumowania istniejące elektrownie pokrywać będą ok. 85% zapotrzebowania ogólnokrajowego, można stwierdzić, że pierwszy etap realizacji sumowania obejmie prawie całkowitą wytwórczość energii elektrycznej.



Rys. 2. Krzywa całkowa obciążeń ogólnokrajowych za 1947 r.
100% na osi odciętych oznacza 6 615 mln. kWh

Ta duża liczba pomiarów uzasadniona jest wielkim skupieniem energetycznym oraz łatwą realizacją, dzięki znacznej liczbie tanich tras kabelkowych, które przy tak krótkich odległościach wypadają taniej od systemu prądów nośnych wielkiej częstotliwości.

Specyfikację wielkości wymienionych pod a, b, c, d podaje tabl. III.

Ostatnia kolumna tabl. III zawiera odległości poszczególnych elektrowni, włączonych do sumowania mocy, od najbliższych podstacji sieci państwowej, a więc od szaf wielkiej częstotliwości; w szafach tych następować będzie „wprowadzenie" pomiaru do odpowiedniego „kanału" prądów nośnych wielkiej częstotliwości, czyli proporcjonalne do pomiaru modulowanie fali nośnej, przesyłanej do okręgowego punktu rozrządczego. Odległość powyższa miarodajna jest dla wyboru najkorzystniejszego systemu przesyłania wielkości mierzonych od elektrowni do podstacji wysokiego napięcia.

Na rys. 3 przedstawiono rozmieszczenie elektrowni o mocy zainstalowanej od 10 MW wzwyż.

Rys. 4 przestawia schematycznie przekazywanie pomiaru mocy od elektrowni do okręgowego punktu rozrządczego, a stąd, po skojarzeniu z innymi pomiarami, do centralnego punktu rozrządczego.

Przewiduje się, że turbozespoły siłowni S_1 będą musiały pracować nieraz niezsynchronizowane, zasilając oddzielne obszary sieciowe. Aparatura wykonywująca sumowanie wypada w tym przypadku droższa: dla każdego z generatorów należy przewidzieć nadajnik telemetryczny, przemieniający mierzoną wielkość mocy w proporcjonalny prąd stały. Prądy te, reprezentujące moce wszystkich generatorów, podlegają w specjalnym urządzeniu zsumowaniu, a następnie przekształceniu w impulsowym nadajniku telemetrycznym na prąd impulsowy jednokierunkowy o proporcjonalnej częstotliwości (na rys. 5 oznaczony przez f'_i); prąd ten przesyła się linią telemetryczną (kablową lub napowietrzną) do szafy wielkiej częstotliwości najbliższej podstacji sieci państwowej.

Tablica III. Wielkości energetyczne objęte przez telemetrię dla potrzeb rozrządu w pierwszym etapie

Okręg rozrządczy	Nr elektrowni	Liczba generat.	Najbliższa podstacja w.n.	Moc czynna c	Moc czynna p	Moc bierna c	Moc bierna p	Napięcie c	Napięcie p	Częstotliwość c	Częstotliwość p	Ciśnienie pary c	Ciśnienie pary p	Odległość elektr. od podstacji (km)
1			Chorzów		6				2					
	7	8	,,	1			1				1		1	0,3
	25	5	,,	1	1									0,25
	17	5	,,	1	2				1					17
	20	3	,,	1	1									12
	23	4	,,	1	1									10
	26+42	3+1	,,	1	2									10(1)
			Miechowice	1	1									
	233	6	,,	1			1	1			1		1	2
			Zabrze		2									
	12	8	,,	1	3		1		2				1	0,05
			Łaziska Górne											
	8	8	,, ,,	1	3		1		2		1		2	1
	41+19	2+3	,, ,,	1	4									35(6)
			Szombierki	1										
	11	5	,,	1			1		1				1	0,1
			Oświęcim		2									
	234	3	,,	1			1		1				1	6
			Byczyna	2	2			1	1		1			
	16	3	,,	3			1		1				1	7
	235	6	,,	1			1		1				1	7
			Małobądz		2									
	6	5	,,	1	2		1		1				1	0,1
	21	3	,,	1	2									5
			Zdzieszowice		2									
2			Warszawa											
	1	6	,,	1										15
	2	4	,,	1										8
	kompens.	1	,,			1								0,2
			Łódź											
	3	5	,,	1										8
	kompens.	1	,,			1								0.2
			Kalisz											
	54	3	,,	1										1
3			Gdańsk											
	14	4	,,	1										0,2
			Gdynią											
	53	3	,,	1										3
	55	2	,,	1										3
			Elbląg											
	33	4	,,	1										1
			Bydgoszcz											
	43	5	,,	1										2
4			Kraków											
	9	6	,,	1										5
			Rożnów											
	27	4	,,	1										0,02
	239	2	,,	1										5
			Mościce											
	48	4	,,	1										1
			Starachowice											
	kompens.	2	,,			1								0,1
			Stalowa Wola											
	5	3	,,	1										2
5			Czechnica											
	236	2	,,	1										1
	15	7	,,	1										15
			Wałbrzych											
	22	7	,,	1										2
	13	6	,,	1										2
			Ludwikowo											
	29+30	4+4	,,	1										1(20)
6			Poznań											
	10	5	,,	1										8
			Szczecin											
	24	5	,,	1										3
			Białogard											
	32	2	,,	1										2
			Gorzów											
	237	3	,,	1										0,1
			Bobrowa Góra											
	238	3	,,	1										0,1

c — pomiar ciągły, p — pomiar synchronicznie przerywany

W podanej przykładowo siłowni S_2 zagadnienie sumowania upraszcza się dzięki temu, że turbozespoły przewidziano tylko do synchronicznej pracy; w tym przypadku wystarczy dać transformatorek sumujący oraz nadajnik telemetryczny, przemieniający wielkość mierzoną w prąd impulsowy jednokierunkowy o proporcjonalnej częstotliwości.

W punkcie rozrządczym X zbiega się 5 linii: linie A i B łączą go z wielkimi siłowniami okręgu $S_1 .... S_5$, linie C i D z sąsiednimi okręgami, linia E natomiast z centralnym punktem rozrządczym.

Wszystkimi powyższymi liniami są przekazywane na prądach nośnych wielkiej częstotliwości pomiary: z linii A, B, C, D zbiegają się one w podstacji okręgowego punktu rozrządczego X, dając wielkości mocy wytwórczych poszczególnych siłowni oraz mocy wymienianych z sąsiednimi okręgami; przez skojarzenie wielkości otrzymujemy całkowitą wytwórczość i spożycie okręgu. Okręgowy punkt rozrządczy X przesyła następnie do centralnego punktu rozrządczego wskazanie wytwórczości okręgu oraz wymiany z sąsiadami za pośrednictwem linii E.

Dla gałęzi od siłowni S_1 do punktu rozrządczego X podano obrazowo dla poszczególnych etapów nitki telemetrycznej charakterystyki prądów telemetrycznych. Wytwarzane przez nadajniki telemetryczne N prądy stałe, proporcjonalne do reprezentowanych mocy, podlegają następnie zsumowaniu, a suma zostaje przekształcona w impulsowy prąd jednokierunkowy o proporcjonalnej częstotliwości f'_i; w szafie wielkiej częstotliwości podstacji sieci państwowej następuje zgodne z powyższymi impulsami ukształtowanie krzywej częstotliwości pośredniej f_1, a następnie zmodulowanie nią częstotliwości nośnej F_1. Tak ukształtowany prąd nośny wielkiej częstotliwości przedostaje się dzięki sprzężeniu kondensatorowemu do linii 110-kilowoltowej i przenosi się w kierunku, określonym dławikami zaporowymi[1]).

W podstacji 110-kilowoltowej punktu rozrządczego X w szafie wielkiej częstotliwości dokonują się przebiegi odwrotne do zachodzących w szafie nadawczej: odtworzona zostaje krzywa impulsowa prądu jednokierunkowego, reprezentująca moc siłowni S_1; prąd ten zamieniony zostaje następnie na proporcjonalny do częstotliwości prąd stały w przekształtniku telemetrycznym impulsów, którego zasadę działania wyjaśnia rozwinięcie w lewym rogu rys. 4: kotwiczka przekaźnika p drga w takt impulsów prądu, włączając przy każdym impulsie źródło prądu stałego na kondensator k, a w okresie przerwy między sąsiednimi impulsami zamykając obwód kondensatora poprzez opór r miernika balistycznego. W rezultacie odchylenie miernika balistycznego będzie proporcjonalne do częstotliwości krzywej impulsowej, a więc i mocy siłowni S_1. Włączony dodatkowo w szereg z powyższym miernikiem licznik prądu stałego może wskazywać produkcję siłowni S_1 [2]).

Sumowanie mocy $P_1 .... P_5$, a następnie kojarzenie tej sumy z $\pm \Delta P_{X\text{-}Y}$ oraz $\pm \Delta P_{X\text{-}Z}$ odbywa się na podstawie zwykłej zasady dodawania i odejmowania krzywych prądu stałego.

Na analogicznej zasadzie oparte jest przenoszenie na prądach nośnych wielkiej częstotliwości innych mierzonych wielkości, jak np. napięć, częstotliwości, ciśnień pary. Należy pamiętać, że w systemie Ericssona na jednej fali nośnej (F_1) przenieść można poza rozmową równolegle 3 pomiary. Jeżeli pomiarów jest więcej do przesłania, tworzy się drugi równoległy układ z nieco inną częstotliwością nośną, przy czym pasmo dla rozmowy równoważne jest 9—12 pasmom telemetrycznym.

5. Ogólna charakterystyka meldunku o stanie wyłączników według systemu Ericssona.

Niepodobna poprzestać na zaopatrzeniu rozrządni tylko w telemetryczne urządzenia pomiarowe. Niezbędne uzupełnienie wyposażenia stanowi sygnalizacja na odległość położenia ważnych wyłączników układu energetycznego. Świetlne wskaźniki położenia wyłączników, wkomponowane w schemat energetyczny, pokazują rozrządcy stan całego układu, a również pozwalają prędko zorientować się w zachodzących zmianach podczas zaburzeń.

Urządzenia do meldunku stanu wyłączników przy pomocy prądów nośnych wielkiej częstotliwości używają w dużym zakresie wybieraków teletechnicznych, co pozwala obsłużyć jednym telegraficznym kanałem wielkiej częstotliwości kilkaset meldunków. System ten jest bardzo skomplikowany i stanowiłby sam w sobie temat do obszernego referatu. W niniejszej pracy podane będą

[1]) W rzeczywistości na fali nośnej przenosi się więcej pomiarów niż jeden, a poza tym moduluje się ją falą przenoszonej rozmowy, wskutek czego obwiednia przybiera kształt o wiele bardziej skomplikowany.

[2]) W nowszych rozwiązaniach stosuje się bardziej skomplikowany system ładowania kondensatora przy obu skrajnych położeniach zwory przekaźnika p oraz specjalne filtry, co pozwala używać zwykłych mierników magneto-elektrycznych.

poniżej jedynie najciekawsze dla projektu charakterystyki systemu L. M. Ericssona i ASEA.

Fragment układu sygnalizacji na odległość przy użyciu prądów nośnych wielkiej częstotliwości pokazuje dla jednego z często stosowanych systemów w sposób bardzo uproszczony rys. 5. Wybierak *W* o *n* stykach wykonuje pełny obrót przy zmianie położenia któregokolwiek z obsługiwanych wyłączników, przy czym wysyła on w kierunku punktu rozrządczego serię (n — 1) impulsów, tworzących falę prądu, znamienną przepuszczonym impulsem, przynależnym wyłącznikowi, meldującemu zmianę. Równocześnie grupa n przekaźników układu kontroli wstecznej rejestruje, jakby fotograficznie, obraz wysłanej fali prądu (wszystkie przekaźniki zadziałały z wyjątkiem przynależnego do wyłącznika meldującego zmianę). Aparatura punktu rozrządczego, otrzymawszy meldunek w postaci powyższej fali prądu, utrwala go w swej grupie przekaźników kontrolnych, po czym następuje wysłanie wstecz do punktu meldującego fali analogicznej do otrzymanej. Jeżeli jest ona zgodna z nadaną (z obrazem utrwalonym przez przekaźniki), a więc jeżeli meldunek był zgodny z aktualnym stanem, to realizowany jest ostateczny meldunek w punkcie rozrządczym na schemacie świetlnym.

Wyłączniki, przewidziane do sygnalizowania ich stanu, segreguje się w grupy do 13 sztuk, gdyż tyle styków posiada wybierak wstępny. Styki sygnalizacyjne kontrolerów wyłączników (włączone, wyłączone) tworzą przez połączenie ze stykami wybieraka obwody, których opór nie powinien być większy od 30 Ω. Przy odległościach dających większe opory stosuje się system połączenia pośredniego z przekaźnikami pośrednimi przed wybierakiem, co stwarza możność zastosowania



Rys. 3. Rozmieszczenie elektrowni o mocy zainstalowanej od 10 MW wzwyż na tle sieci państwowej najwyższych napięć (numeracja zgodna z tabl. II i IV)

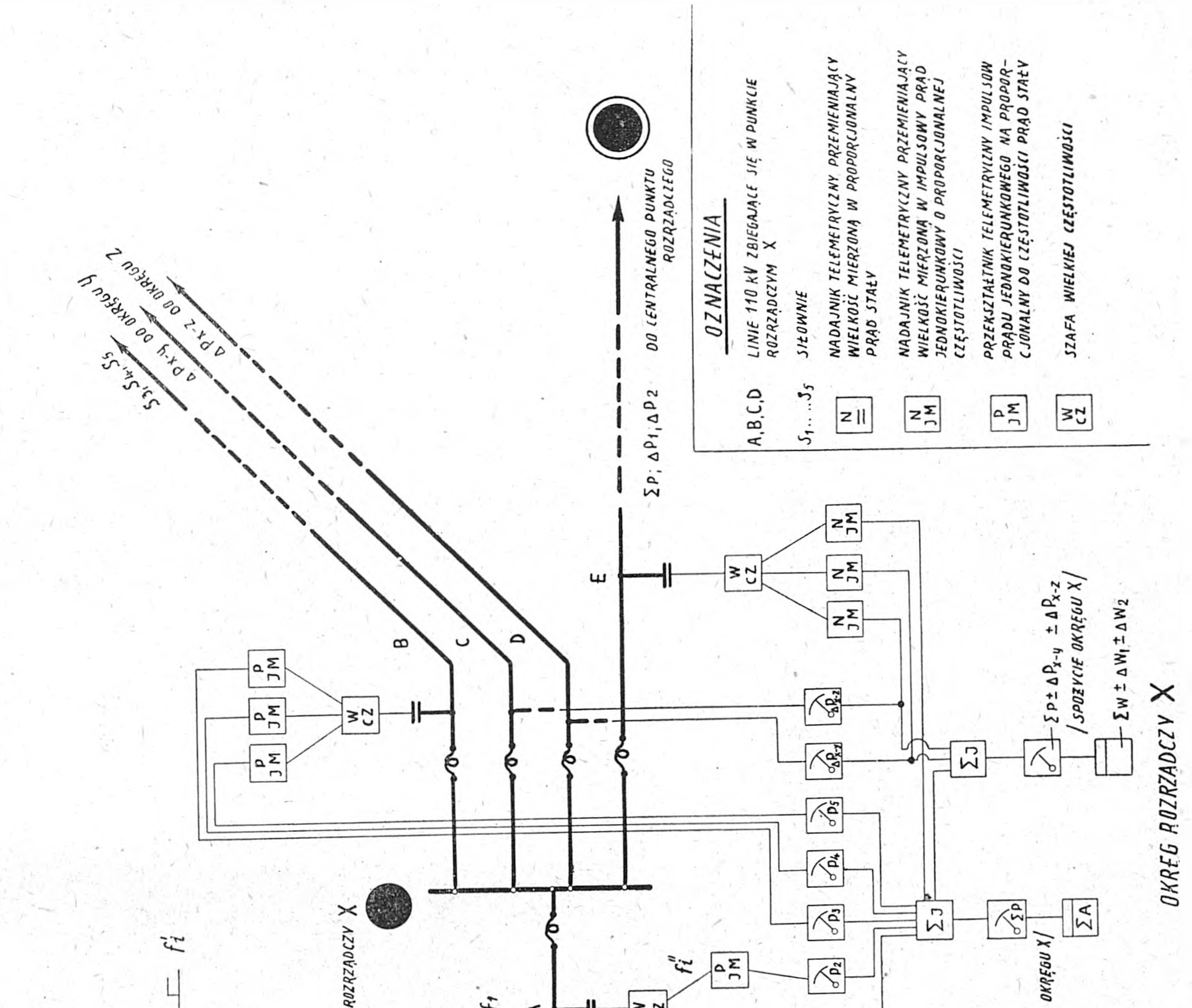
Obok Wałbrzycha (l. p. 13 w tabl. II) oznaczono na rys. 3 omyłkowo Biały Kamień liczbą 15 zamiast 45

Tablica IV. Elektrownie nowobudowane, które będą włączane na sumowanie wytwórczości w pierwszym etapie realizacji telemetrii

L. p.	Nazwa elektrowni	Przewidywana moc przy pełnej rozbudowie (MW)	Liczba generatorów (szt.)
55	Gdynia II	20	2
233	Miechowice	340	6
234	Dwory	150	3
235	Jaworzno II	300	6
236	Czechnica	100	2
237	Gorzów Wlkp.	42	3
238	Bobrowa Góra	75	3
239	Czchów	10	2

cienkich łączących kabli teletechnicznych; ponadto, ponieważ przekaźniki posiadają dwie pary styków wtórnych, uzyskuje się możność zrealizowania dodatkowych schematów świetlno-wskaźnikowych dla celów lokalnych. miast przy systemie bezpośredniego połączenia każde wskazanie musi posiadać 3 własne przewody.

Przy opłacalnie dużych odległościach połączenia między wybierakami realizuje się na prądach nośnych wiel-

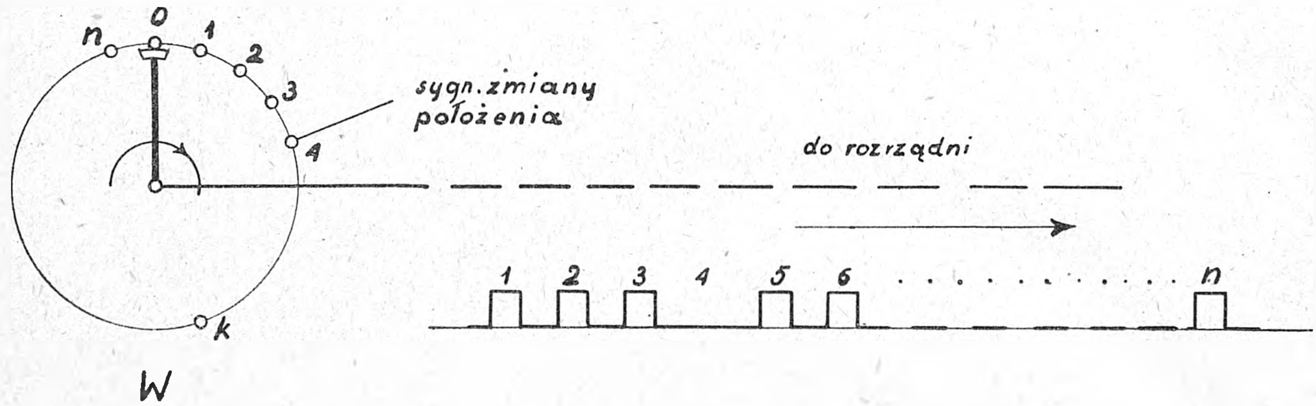


Rys. 4. Schemat przekazywania i kojarzenia pomiarów mocy elektrowni

Do wybieraka grupowego przyłączyć można tylko 4 wiązki linii z wybieraków wstępnych. Przy systemie pośredniego połączenia można używać dla każdej czwórki przewodów jeden wspólny przewód powrotny, natokiej częstotliwości. Sygnalizacja wybranych wyłączników koncentruje się w okręgowym punkcie rozrządczym, skąd najważniejsze przesyłane są dalej do punktu centralnego. Otrzymuje się w ten sposób nowy układ

kanałów sygnalizacyjnych wielkiej częstotliwości na sieci ogólnokrajowej, które nakłada się na uprzednio omówione układy — telefoniczny i telemetryczny.

Automatyczny meldunek o stanie wyłączników według powyższego systemu zachodzi jednak z pewnym opóźnieniem. Przebieg meldunku zmiany położenia od wybieraka wstępnego do grupowego trwa do 8 sek.; wybierak grupowy stwarza dodatkowe opóźnienie do 8 sek. Zmiany stanu wyłączników różnych grup, zachodzące równocześnie, wymagają kolejności. Równocześnie zachodzące zmiany stanu nawet wszystkich wyłączników tej samej grupy nie wymagają kolejności w meldowaniu. Łatwo obliczyć, że największe opóźnienie przy równoczesnym wyłączeniu nawet wszystkich wyłączników czterech grup wyniesie około 40 sek.



Rys. 5. Fragment układu sygnalizacji na odległość

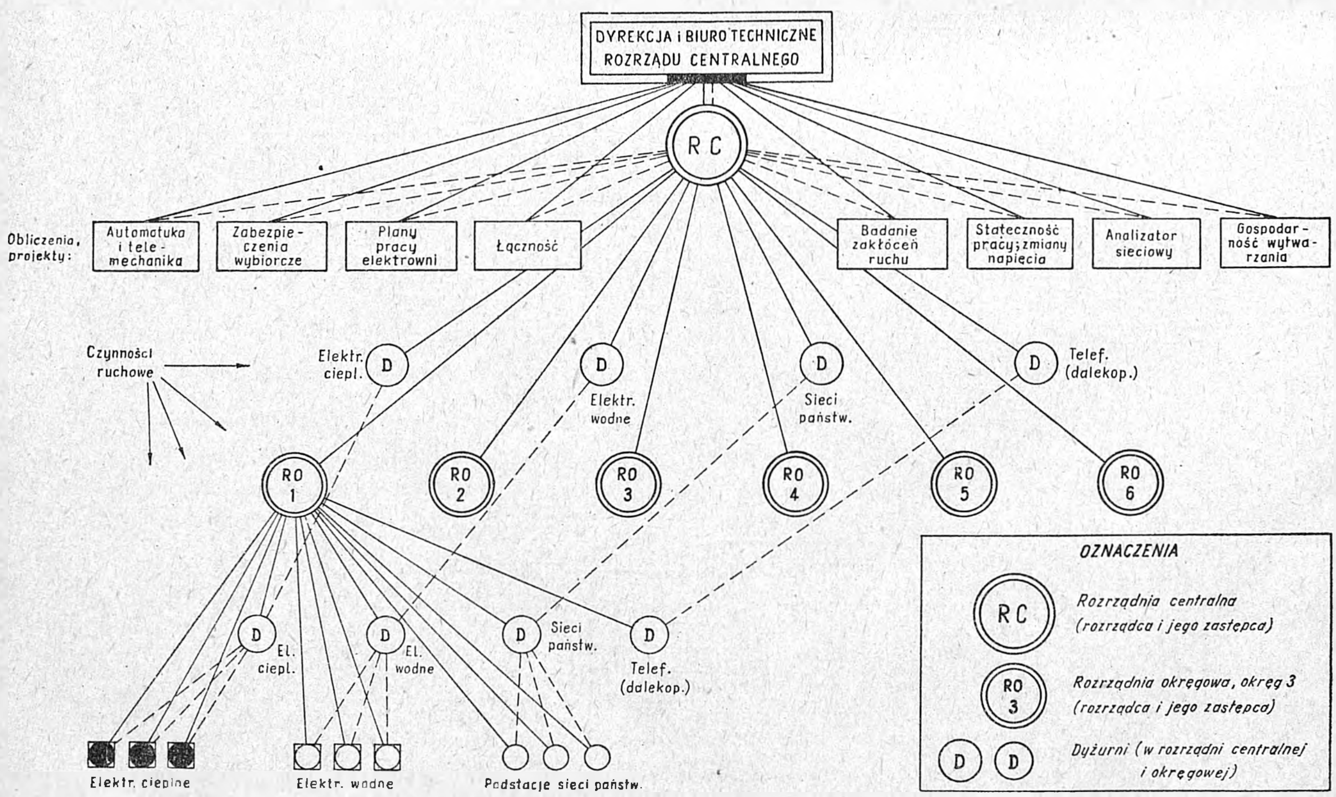
6. Podział Polski na okręgi rozrządcze.

Konieczność podziału wielkiego układu energetycznego na okręgi rozrządcze i stworzenia w ten sposób różnych stopni zasięgu i precyzji sterowanego układu nie ulega wątpliwości. Kwestią dyskusji jest jedynie ustalenie najkorzystniejszego dla energetyki polskiej podziału. Z konfiguracji układu energetycznego wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem byłoby stworzenie 6 okręgów rozrządczych o granicach, wyznaczonych przez punkty wymiany energii (rys. 6) z siedzibami w Katowicach, Warszawie, Gdańsku, Krakowie, Wrocławiu i Poznaniu.

Podział powyższy skoncentruje w ręku rozrządców okręgowych obszary energetyczne jednolite pod względem charakteru układu i zadań, nie rozdrabniając równocześnie zbyt daleko układu energetycznego.

Centralny punkt rozrządczy zdecydowano umieścić w Katowicach, siedzibie okręgu największego skupienia energetycznego i eksportera podstawowej energii. Katowice będą spełniały równocześnie czynności rozrządcze w zakresie współpracy naszych wielkich linii eksportowych z układem wschodnio-europejskim poprzez Czechosłowację.

Wstępny projekt organizacji rozrządu elektroenergetycznego podaje rys. 6. Czynności rozrządu elektroenergetycznego podzielić się dają na dwie kategorie: przygotowawczego planowania (obliczenia, kalkulacje, projekty, statystyka) oraz bezpośrednio ruchowe (realizacja planów likwidacja zaburzeń).



Rys. 6. Wstępny projekt organizacji rozrządu elektroenergetycznego

Czynności przygotowawczego planowania podlegają bezpośrednio dyrekcji (biuru technicznemu) rozrządu centralnego i są jednostopniowe. Obejmują one:

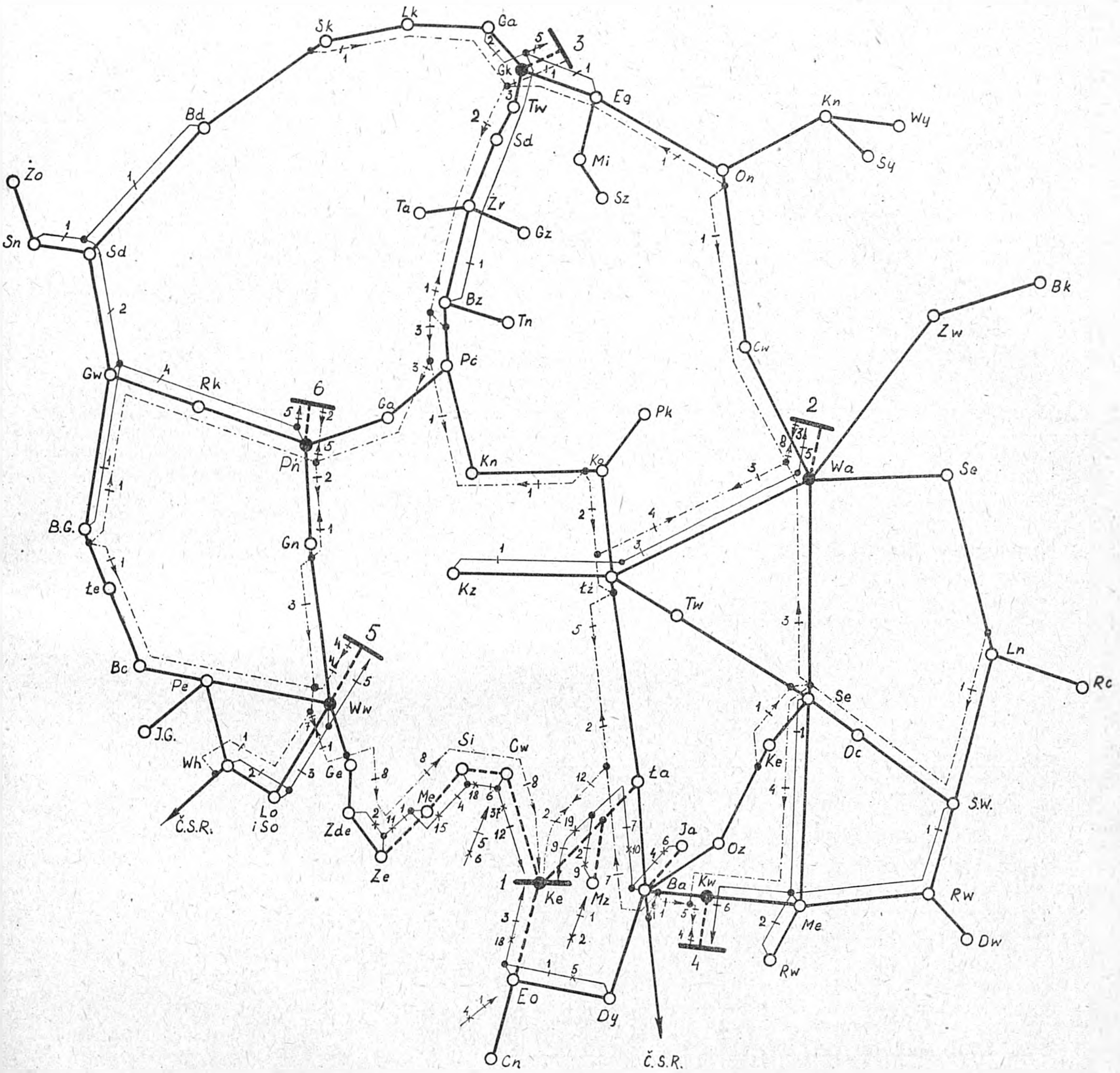
a) ustalanie planów pracy elektrowni z uwzględnieniem gospodarności wytwarzania i rozdziału na podstawie analizy krzywej obciążeń i danych statystycznych;

b) ustalanie rozpływu mocy czynnych i biernych z uwzględnieniem zmian napięcia w sieci;

c) ustalanie konfiguracji układu energetycznego ze względu na moce zwarcia i stateczność układu;

d) badanie zakłóceń ruchu oraz wysnuwanie i realizacja wniosków;

Czynności bezpośrednio ruchowe będą wykonywane przez trójstopniową organizację rozrządców, której sztab główny tworzy rozrządca centralnego punktu wraz z pomocnikami: zastępcą, dyżurnym elektrowni cieplnych, dyżurnym elektrowni wodnych, dyżurnym sieci państwowych oraz dyżurnym telefonistą, obsługującym telefony



OZNACZENIA

Sieć państwowa wysokiego napięcia
Połączenia kabelkami teletechnicznymi
Okręgowy punkt rozrządczy
Centralny i okręgowy punkt rozrządczy
Kanały telemetryczne obsługujące rozrząd okręgowy
Kanały telemetryczne obsługujące rozrząd centralny
Wymiana energii między okręgami
Liczba pomiarów ciągłych
Liczba pomiarów synchronicznie przerywanych
Dla nazw miejscowości podano pierwszą i ostatnią literę

Rys. 7. Układ kanałów telemetrycznych

e) ustalanie współpracy i badanie działania zabezpieczeń wybiorczych;

f) kontrola i usprawnianie łączności;

g) kontrola i usprawnianie automatyki i telemechaniki;

Prace wymienione pod b i c będzie wykonywał specjalista przy pomocy analizatora sieciowego.

i dalekopisy. Rozrządca centralny, otrzymujący instrukcje co do ogólnego planu pracy układu z dyrekcji rozrządu, korzysta również bezpośrednio, jako realizator powyższych instrukcji oraz odpowiedzialny za likwidację zaburzeń, z pomocy działów planowania przygotowawczego (ob. wyżej w pozycjach a — g).

Rozrządcy centralnemu podlegają rozrządcy okręgowi. Przy zachowaniu tej samej struktury okręgowego punktu rozrządczego, co i punktu centralnego, ustala się bezpośrednią łączność informacyjną między członkami sztabów — głównego i okręgowego (dyżurni elektrowni cieplnych, wodnych, sieci państwowych, telefonów), jednak dyspozycje ruchowe muszą wychodzić tylko od rozrządcy centralnego i muszą wszystkie przechodzić przez rozrządcę okręgowego. Poszczególne okręgi rozrządcze wpływać mogą na współpracę jedynie poprzez jednostkę nadrzędną — rozrządcę centralnego.

Trzeci, najniższy, stopień rozrządu tworzą bezpośredni wykonawcy planu produkcji i rozdziału energii: dyżurni elektrowni cieplnych i wodnych oraz dyżurni na podstacjach sieci państwowej, dysponujący w wydzielonych nastawniach elementami sieci państwowej. I tu może istnieć bezpośrednia łączność z właściwymi członkami sztabu rozrządu okręgowego, ale tylko informacyjna. Uprawomocnionym do wydawania zleceń jest jedynie rozrządca okręgowy.

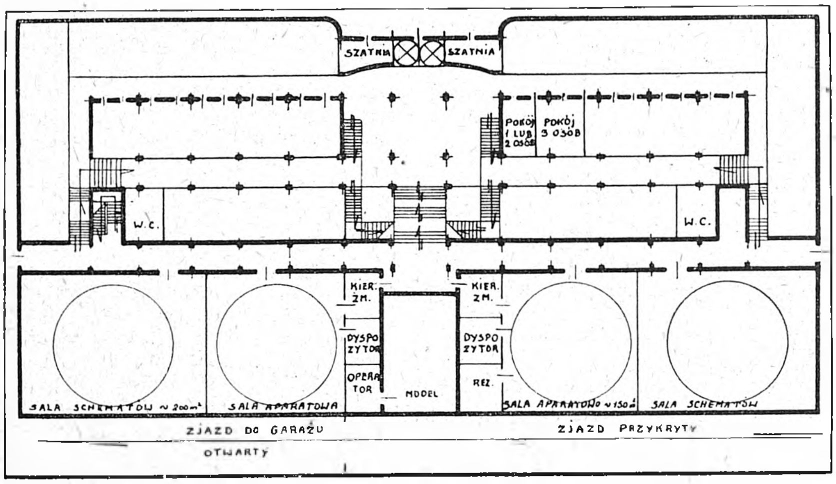
Od sprawności działania tak utworzonej organizacji, a przede wszystkim od bezwzględnej karności w jej szeregach zależy powodzenie w dziedzinie jak najekonomiczniejszego wytwarzania i rozdziału energii elektrycznej oraz sprawnego likwidowania zakłóceń ruchu.

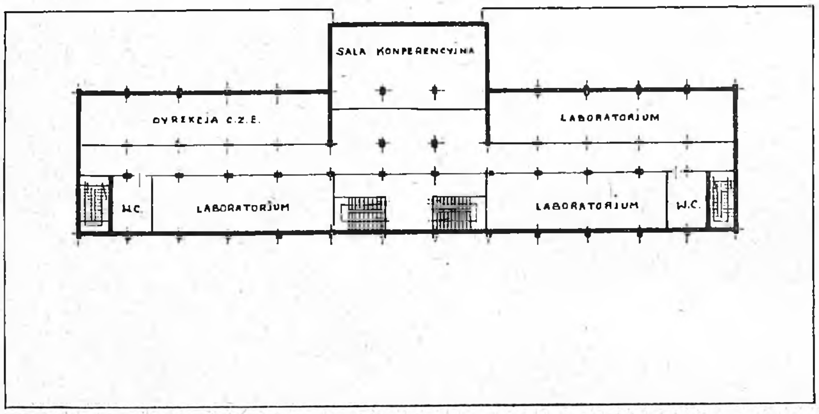
Ustalony podział określa ściśle układ kanałów telemetrycznych, wykonywających sumowanie mocy elektrowni (ob. rozdz. 4 i tabl. II). Rys. 7 ilustruje ogólny schemat kanałów telemetrycznych. Liniami pełnymi oznaczono kanały, obsługujące telemetrię w obrębie poszczególnych okręgów rozrządczych. Na każdym odcinku oznaczono w umowny sposób liczby pomiarów, przenoszonych w sposób ciągły lub synchronicznie przerywany. Ten ostatni sposób pozwala, jak wiemy, przenosić jednym kanałem kilka pomiarów (w systemie „ASEA" 6, każdy przez 20 sek., okres nieaktualności dla każdego 100 sek.). Pomiary wyszczególnione na rysunku zgadzają się ściśle z tabl. III; dla pomiarów mocy przewidziano, jak widzimy, wszędzie system przenoszenia ciągłego, co umożliwia łatwe zcentralizowanie mierzenia wytwórczości i spożycia okręgów indywidualnie i całej Polski.

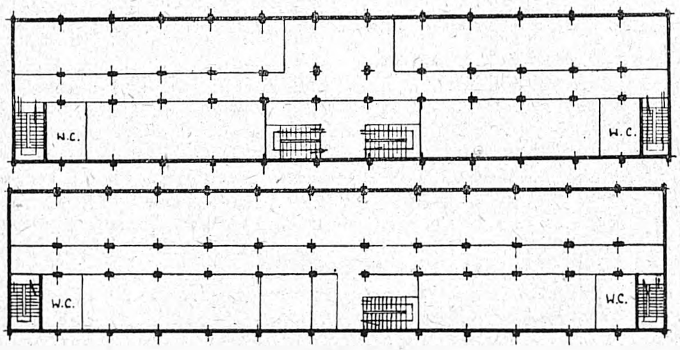
Równocześnie oznaczono na rys. 7 układ kanałów obsługujących centralny rozrząd: „płyną" w nich pomiary wymiany mocy między sąsiednimi okręgami do punktów rozrządczych tych okręgów, a następnie dalej do punktu centralnego. Równocześnie okręgowe punkty rozrządcze przesyłają do punktu centralnego wskazania wytwórczości całego okręgu.

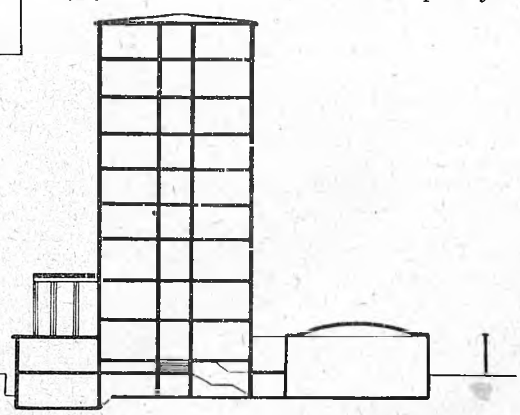
Na sygnalizację wskazań wyłączników przewidzieć należy dodatkowo dla każdego odcinka sieci oraz dla tras z okręgowych do centralnego punktu rozrządu po jednym kanale telegraficznym (mniej więcej 2 razy szerszy od telemetrycznego).

Na podstawie powyższego można np. określić, że kabel telekomunikacyjny Katowice — Łagisza (do skrzyżowania z trasą na Małobądz) musi być przewidziany na przenoszenie poza telefonią: 21 pomiarów ciągłych i 19 przerywanych synchronicznie w kierunku Katowic, 2 pomiarów ciągłych od Katowic (dodatkowo przesyłamy z Katowic do Warszawy pomiar całkowitej wytwórczości ogólnokrajowej i eksportu zagranicę) oraz ok. 4 połączeń dla meldunku stanu wyłączników w okręgach rozrządczych, co daje razem $21 + \frac{19}{6} + 2 + 4 = 31$ jako liczbę par żył do celów telemetrii i sygnalizacji.









Rys. 8. Wstępny projekt gmachu energetyki w Katowicach

Zagadnienie opracowania węzła telekomunikacyjnego Zagłębia Węglowego jest samo w sobie bardzo obszerne, wymaga bowiem ścisłego ustalenia tras kabli w bardzo ciężkim terenie (na pewnym odcinku z powodu silnych ruchów ziemi trzeba dawać kabel na słupach), określenia typu kabli oraz zaprojektowania pupinizacji dla obwodów telefonicznych.

Ustalona w pierwszym etapie rozwoju dwustopniowa organizacja rozrządu bardzo prędko przekształci się w trójstopniową: na ważniejszych podstacjach sieci państwowej budowane będą wydzielone nastawnie rozdzielni 220 kV i 110 kV ze specjalną obsługą, podle-

głą rozrządcy okręgowemu; oddzielne nastawnie niższych napięć rozdzielczych będą mogły być nadal podporządkowane lokalnym zjednoczeniom.

7. Wyposażenie rozrządni.

Typowe wyposażenie okręgowych punktów rozrządczych stanowić będą:

a) wskaźniki mocy wytwarzanych przez poszczególne większe elektrownie (ob. rozdz. 4);
b) wskaźniki mocy wymienianych między sąsiednimi okręgami (ew. eksportowanych za granicę);
c) wskaźniki ogólnej produkcji i spożycia mocy;
d) przyrządy rejestrujące dla mocy wymienionych pod a, b, c.
e) liczniki energii wytwarzanej i wymienianej;
f) 2 okresomierze: dokładny (48 do 52 okr. sek.) i mniej dokładny (45 do 55 okr./sek.);
g) woltomierze wskazujące i rejestrujące;
h) wskaźniki położenia wyłączników umieszczone w świetlnym schemacie sieci.

Dodatkowo okręg rozrządczy 1 otrzyma szereg wskazań ważniejszych wielkości odcinka swego układu energetycznego (jak w tabl. III). Wskaźniki wielkości przesyłanych synchronicznie z przerwami przewiduje się z zatrzymywaniem ostatniej wartości na okres nieaktualności (a nie z cofaniem do zera).

Wyposażenie centralnego punktu rozrządczego stanowić będą aparaty, jak pod b, c, f; g; a poza tym:

i) wskaźnik ogólnokrajowej produkcji i spożycia mocy;
j) przyrządy rejestrujące dla b. c, f, g, i;
k) liczniki energii dla b, c, i.

Również wskazania najważniejszych wyłączników meldowane będą z okręgowych rozrządni do centralnej.

Zaznaczyć należy, że powyższa aparatura pozwala również przy niewielkim dodatkowym koszcie otrzymywać ważne wskazania dla celów lokalnych, np. w elektrowniach pomiar całkowitej wytwórczości, w podstacjach dodatkowy schemat świetlny układu z automatycznym meldunkiem stanu wyłączników itd.

8. Projekt gmachu okręgowego i centralnego rozrządu w Katowicach.

O realności bliskiego terminu urzeczywistnienia pierwszego fragmentu urządzeń rozrządczych świadczy między innymi wykonany już wstępny projekt gmachu energetyki w Katowicach (rys. 8).

Niższe kondygnacje olbrzymiego 8-piętrowego punktowca przeznaczone są dla centralnej i okręgowej rozrządni. Umieszczona z tyłu poza budynkiem partia monumentalnych sal tworzyć będzie właściwe pomieszczenia rozrządcze. Z rzutu parteru widoczny jest podział na dwie niezależne części: rozrząd okręgowy ma do dyspozycji salę aparatów i salę schematów o łącznej powierzchni 350 m² oraz pomieszczenia bezpośredniej obsługi. Rozrząd centralny otrzymuje dodatkowo salę analizatora sieciowego. Parter właściwego budynku zajmują pomieszczenia biurowe dyżurnych sieci, elektrowni cieplnych oraz wodnych, inżynierów-ekonomistów itd.

Szczegółowy projekt gmachu jest w opracowaniu, budowa ma się niebawem rozpocząć.

9. Zespoły zasilające urządzenia telekomunikacyjne wielkiej częstotliwości.

Nie można zaprojektować układu tak, aby szafy wielkiej częstotliwości zasilane były bezpośrednio z sieci prądu zmiennego podstacji, gdyż wszelkie zaburzenia, a więc związane z nimi spadki względnie zaniki napięcia, powodowałyby unieruchomienie urządzeń właśnie w chwili, kiedy najbardziej są potrzebne. Szczególnie wyzyskanie prądów nośnych wielkiej częstotliwości do zabezpieczenia kierunkowo-porównawczego wymaga stałości i ciągłości napięcia zasilającego właśnie w chwilach zaburzeń.

Firma „ASEA" rozwiązuje powyższe zagadnienie za pomocą trójmaszynowych zespołów zasilających, składających się z prądnicy synchronicznej, napędowego silnika asynchronicznego pracującego normalnie oraz silnika prądu stałego, który w razie spadku napięcia w sieci automatycznie zostaje przyłączony do baterii akumulatorów. Możliwe jest takie rozwiązanie, że powyższy silnik prądu stałego w czasie normalnej pracy będzie służył jako prądnica do ładowania akumulatorów. W ten sposób zespół spełni podwójne zadanie.

10. Zakontraktowane terminy dostaw urządzeń rozrządczych.

Zamówione w 1945 r. w firmie L. M. Ericsson urządzenia wielkiej częstotliwości, w dużej części już dostarczone i uruchomione, realizują połączenia telekomunikacyjne w południowo-wschodniej Polsce. W ramach bieżącej umowy kredytowej udzielono tejże firmie wielkiego zamówienia, pozwalającego na uruchomienie telefonii nośnej na dalszych 57 odcinkach telekomunikacyjnych z terminami dostaw:

aparatury dla 20 odcinków do połowy 1952 r.
„ „ dalszych 37 odcinków „ „ 1953 r.

Zrealizuje to telefonię nośną na całej sieci, licząc stan na koniec 1953 r. Równocześnie zamówiono 54 zespoły trójmaszynowe do zasilania urządzeń wielkiej częstotliwości z terminem dostawy w I kwartale 1955 r.

Powyższe zamówienia urządzeń wielkiej częstotliwości dostosowane są na razie tylko do pokrycia potrzeb telefonii nośnej i dalekopisów. Resztkowe kanały telemetryczne (po trzy przy każdym telefonicznym) nie wszędzie wystarczą dla potrzeb telemetrii zdalnej, tak że trzeba będzie zamówić pewną liczbę równoległych urządzeń dodatkowych.

W fazie pertraktacji z kilku firmami znajdują się sprawy urządzeń telemetrii zdalnej oraz sygnalizacji na odległość stanu wyłączników. Termin dostawy tych urządzeń, jak również przekaźników odległościowych specjalnie dostosowanych do realizacji zabezpieczenia porównawczo-kierunkowego na prądach nośnych wielkiej częstotliwości, nie powinien przekroczyć końcowego terminu dostawy udzielonych ostatnio zamówień.

11. Wnioski końcowe.

Istnieją podstawy do twierdzenia, że urządzenia rozrządu elektroenergetycznego zostaną w pełni uruchomione w ramach planu sześcioletniego. Nie trzeba jednak zapominać, że do kompletu urządzeń brakuje przekaźników, sterujących automatycznie wytwórczością elektrowni, przeznaczonych do pracy według szablonu; nie można oczywiście zakładać, że sama interwencja tablicowych elektrowni wystarczy w tym względzie. Sprawa ta pozostaje nadal otwarta.

Urządzenia telemetryczne tworzyć będą rozległy zespół wymagający, oprócz zmontowania, stałej i czujnej konserwacji. Czas jest pomyśleć o stworzeniu na którejś z politechnik działu telemetrycznego i laboratorium, wyposażonego w model zespołu telemetrycznego, aby moment realizacji rozrządu elektroenergetycznego nie zastał nas nieprzygotowanych.

II Międzynarodowy Kongres Techniczny (Conférence Technique Mondiale)

W marcu 1949 roku odbędzie się w Kairze II Międzynarodowy Kongres Techniczny.

Przewidziane są następujące tematy obrad:

Sekcja A. Surowce przemysłowe i ich racjonalne użytkowanie w świecie.

I. Surowce mineralne (węgiel, nafta, minerały itd.).

II. Surowce roślinne i zwierzęce (drzewo, bawełna, kauczuk, wełna itd.).

Wszystkie problemy surowców (rozkład geograficzny, eksploatacja, ruch i użytek) będą rozpatrywane pod względem ich związku z przemysłem. Kwestie energetyczne nie wchodzą w zakres prac Sekcji A.

Sekcja B. Społeczne konsekwencje rozwoju techniki.

Tu wchodzą sprawy społeczne, dotyczące rozpowszechnienia i popularyzowania nauki stosowanej i konsekwencji uprzemysłowienia, odbijających się na życiu ludzkim.

Sekcja C. Problemy wody na Wschodzie Środkowym.

Bieg wody, morza, wody podziemne, wody deszczowe. W sekcji tej będą rozpatrywane kwestie irygacji, żeglugi, energii, wody do picia itd.

Przewidziany jest udział polskiej delegacji w kongresie.

Bliższe informacje były podane do wiadomości oddziałów SEPu przez Sekretarza Generalnego.

INŻ. IGNACY BARAN

Próba analizy statystyki wypadków podczas pracy przy urządzeniach elektrycznych w roku 1946*)

Treść. Ocena ogólna materiałów statystycznych. Wysokość napięcia i rodzaj urządzeń, przy których wypadki zdarzają się. Wadliwa budowa urządzeń i nieprzestrzeganie przepisów ruchu jako główne przyczyny wypadków. Zawód i wiek poszkodowanych. Ocena wypadków pod względem ich skutków. Podział wypadków według rodzaju przemysłu.

Опыт анализа статистики несчастных случаев во время работы с электрическими установками за 1946 год. Общая оценка статистического материала. Величина напряжения и род установки, в которой происходили несчастные случаи. Неудовлетворительное исполнение установки и нарушение эксплоатационных правил — главные причины несчастных случаев. Профессия и возраст пострадавших. Характеристика несчастных случаев с точки зрения их последствий. Классификация несчастных случаев по отраслям промышленности.

An Attempt to Analyse the Statistics for 1946 in Respect of Accidents which Occurred while Using Electrical Equipment. General survey of statistical data. Voltages in and nature of equipment in the use of which accidents occured. Faulty construction of equipment and non-compliance with operation regulations as the main causes of accidents. Profession and age of the victims. Survey of accidents according to their effects. Allocation of accidents according to the class of industries.

Essai d'une analyse statistique des accidents du travail dans les installations électriques en 1946. Appréciation générale des données statistiques. Tensions et types d'installations dans lesquelles se produisent les accidents. La défectuosité de sconstructions et la violation des réglements — causes principales des accidents. Professions et âges des accidentés. Les accidents du point de vue de leurs effets. Répartition des accidents d'après les genres d'industries.

1. Wstęp.

Stosunkowo mała liczebność wypadków podczas pracy przy urządzeniach elektrycznych, wynosząca niespełna 0,5% ogólnej liczby wypadków zgłoszonych do ubezpieczalni społecznych, mogłaby nasuwać przypuszczenie, że sprawa zapobiegania wypadkom tego typu powinna znaleźć się na dalszym miejscu wśród poczynań w zakresie ogólnej akcji bezpieczeństwa pracy. Twierdzenie takie traci swą słuszność, jeżeli przy porównaniu uwzględni się ciężkość wypadków, śmiertelność bowiem w następstwie wypadków przy urządzeniach elektrycznych jest wielokrotnie większa niż śmiertelność spowodowana wypadkami z innych przyczyn. Skoro się przy tym zważy, że w związku z postępującą elektryfikacją kraju zastosowanie energii elektrycznej coraz bardziej się upowszechnia, wskutek czego prawdopodobieństwo wypadków przy urządzeniach elektrycznych wydatnie wzrasta, jasną będzie rzeczą, że akcja zapobiegania wypadkom tego typu jest nieodzowną koniecznością.

Akcja ta musi się opierać na analizie statystyki wypadków. Niestety dane statystyczne za 1946 r. są tak niekompletne, że opracowanie pełnowartościowej analizy za ten okres nie jest możliwe. To też artykuł niniejszy należy traktować głównie jako materiał do dyskusji nad układami statystycznymi i metodą analizy. Podane w tekście opisy wypadków są rozmyślnie przytoczone w dosłownym brzmieniu według doniesień o wypadkach, żeby pokazać, jak te opisy bywają ujęte niezdarnie i niefachowo.

2. Materiały statystyczne.

Skuteczność akcji przeciwwypadkowej zależy przede wszystkim od planowego jej zorganizowania, co znowu wiąże się z właściwie przeprowadzoną analizą odpowiednich materiałów statystycznych. Analiza statystyczna jest tylko wtedy w pełni wartościowa, gdy operuje materiałem zawierającym odpowiednio dużą liczbę obserwacji i gdy materiał ten jest odpowiedni pod względem jakościowym. Wnioski oparte na nielicznych obserwacjach mają małą wartość, gdyż są obciążone zbyt dużym błędem wynikającym z przypadkowości.

Jakość materiału statystycznego zależy od jego jednorodności i dokładności. Przez jednorodność materiału należy rozumieć jednakowe ujęcie jego poszczególnych elementów, umożliwiające odpowiednie zestawienie ich do celów porównawczych. Opis wypadku będzie dokładny, jeżeli zawiera szczegółowe dane o jego przebiegu, o przyczynach, które wypadek bezpośrednio spowodowały oraz o okolicznościach oczywistych i domniemanych, które mogły mieć wpływ większy lub mniejszy na powstanie wypadku lub na jego skutki. W wypadkach elektrycznych taka dokładność jest szczególnie ważna, gdyż zarówno urządzenia elektryczne są na ogół skomplikowane, jak też działanie prądu na organizm ludzki nie jest zjawiskiem prostym.

Materiałem, który w obecnej chwili najbardziej nadaje się do analizy, dysponuje Zakład Ubezpieczeń Społecznych, który prowadzi ogólną statystykę wypadków przy pracy dla celów zapobiegawczych. Zakład ten opracował w roku ubiegłym ogólną statystykę wypadków za r. 1946 metodą reprezentacyjną tj. opierając się na materiale częściowym, dobranym odpowiednio do wymagań tej metody. Niestety, mała liczba opisów — bo tylko 103 doniesienia o wypadkach elektrycznych na ogólną liczbę 19 761 wybranych doniesień — nie pozwala na wyprowadzenie wniosków mających wartość statystyczną.

Drugą wadą niemniej istotną tych materiałów jest mała dokładność opisów, wynikająca najczęściej z nieznajomości rzeczy lub niedbalstwa osób sporządzających doniesienia o wypadku.

Jednak nawet w przypadku, gdyby i ilość materiałów była wystarczająca i jakość materiałów odpowiednia, należałoby się wstrzymać od formułowania dalej idących wniosków, ponieważ materiał pochodzi z r. 1946, a więc z okresu, kiedy przemysł znajdował się jeszcze w stadium wstępnej organizacji i odbudowy po wojnie, co niewątpliwie wywarło znaczny wpływ na liczebność i charakter jakościowy wypadków przy urządzeniach elektrycznych. W miarę postępującej stabilizacji przemysłu w zakresie organizacji i uporządkowania urządzeń — materiał obserwacyjny zyskiwać będzie zarówno na jakości jak i aktualności.

3. Rodzaj prądu i wysokość napięcia.

Rodzaj prądu i wysokość napięcia są to czynniki, posiadające najbardziej istotny wpływ na skutki wypadków. Aczkolwiek z braku danych nie udało się przeprowadzić podziału wypadków co do rodzaju prądu, przypuszczać należy, że w znacznej większości wypadków przyczyną był prąd zmienny ze względu na ograniczone zastosowanie prądu stałego w urządzeniach przemysłowych.

Podział wypadków według wysokości napięcia jest następujący:

napięcie do 380/220 V	45	wypadków
napięcie ponad 380/220 V	35	„
brak danych	25	„

Należy tu zwrócić uwagę na stosunkowo dużą w tym okresie liczebność wypadków przy wysokim napięciu. Zjawisko to znajdzie naświetlenie podczas dalszej analizy przyczyn wypadków.

4. Źródła niebezpieczeństwa.

Przy badaniu materiałów w celach zapobiegawczych istotną sprawą jest wykrycie głównych źródeł wypadków, a więc przede wszystkim urządzeń, przy których wypadki najczęściej się powtarzają. W 103 wypadkach zbadanych — źródło wypadków stanowiły:

przewody	40 wyp.	maszyny i aparaty	18 wyp.
urządzenia rozdzielcze	11 „	brak danych	13 „
wyłączniki i bezpieczniki	21 „		

Jak widać z tego zestawienia najniebezpieczniejsze były przewody, które dały ok. 40% ogólnej liczby wypadków. Podobne wyniki wykazuje statystyka przedwojenna z

*) Program działalności Komitetu Bezpieczeństwa Pracy SEP obejmuje między innymi opracowywanie i ogłaszanie analizy statystyki wypadków porażeń elektrycznych. Niewystarczający materiał statystyczny za 1946 r. uniemożliwia jednak opracowanie właściwej analizy za ten rok. Wobec tego Komitet uznał za właściwe ograniczyć się do ogłoszenia niniejszego artykułu dyskusyjnego, napisanego przez jednego z członków Komitetu, i prosi czytelników o nadsyłanie do SEP uwag co do podanych w artykule układów statystycznych i zastosowanej przez autora metody analizy. Uwagi te będą uwzględnione przy opracowywaniu przez Komitet na początku 1949 r. analizy statystyki wypadków za 1947 r. Roczna zwłoka w ogłoszeniu analizy jest spowodowana trudnościami w zebraniu materiałów statystycznych. Analogiczne trudności występują zresztą i w innych krajach.

(Przyp. Komitetu Bezpieczenstwa Pracy SEP)

roku 1937[1]), według której na ogólną liczbę zbadanych 115 wypadków było 49 przy przewodach (43%).

Szczególne niebezpieczeństwo przedstawiają przewody gołe (25 wypadków na 40 przy przewodach), które stanowią specjalną pokusę dla młodocianych, jak to ilustruje poniższy przykład:

„Poszkodowana (w wieku 18 lat) zawiozła obiad robotnikom do kopalni kolejką elektryczną; w drodze powrotnej dotknęła przewodu elektrycznego i doznała poparzenia palców i ogólnego potłuczenia".

5. Przepisy bezpieczeństwa.

Wiele wypadków wiąże się z nieprzepisową budową urządzeń elektrycznych, więcej jednak z nieprzestrzeganiem przepisów ruchu, co ilustruje poniższe zestawienie:

wadliwa budowa lub instalacja urządzeń	12	wypadków
wadliwe zabezpieczenia lub ich brak	34	„
nieprzepisowe wykonywanie pracy	22	„
praca pod napięciem	20	„
inne przyczyny lub brak danych	15	„

Zestawienie to wskazuje, że czynnik ludzki odegrał tu większą rolę niż wadliwość urządzeń, albowiem liczba wypadków wynikających z przekroczenia przepisów budowy urządzeń i ich instalacji wynosi 35, natomiast nieprzestrzeganie przepisów ruchu spowodowało 56 wypadków, a więc o 60% więcej. Winę nieprzestrzegania przepisów ruchu należy przypisać przede wszystkim elektromonterom, jak o tym świadczy kilka poniższych przykładów:

„Pomocnik elektromontera K. C. przystąpił do odkręcania zacisków automatu, wiedząc, że znajdują się one pod napięciem 380 V. W czasie pracy zsunięty śrubokręt spowodował zwarcie faz. Powstał silny łuk, który poparzył K. twarz. Jako przyczynę wypadku należy uważać niezastosowanie się do przepisów, które zabraniają pracy pod napięciem".

„Przy zakładaniu szczotek do motoru nastąpiło krótkie spięcie, skutkiem czego poszkodowany pomocnik warsztatowy M. T. doznał poparzenia ręki prawej".

„Poszkodowany chciał włączyć bezpiecznik; pracując bez rękawic zrobił zwarcie bezpiecznika i prąd poparzył mu twarz i ręce".

„Poszkodowany pomocnik montera O. B. został porażony prądem elektrycznym przy wymianie bezpieczników 3 kV i spadł z podstacji z wysokości 7 m".

Wiele wypadków wynikających z wadliwości lub braku zabezpieczeń należy również przypisać nieprzestrzeganiu przepisów bezpieczeństwa ruchu, w szczególności odnośnie stosowania obniżonego napięcia względnie uziemień. Dotyczy to przede wszystkim lamp przenośnych i narzędzi ręcznych, jak pokazują poniższe przykłady:

„R. J. pragnąc oświetlić kocioł, w którym gotowały się wędliny, chwycił wiszącą żarówkę w tym celu i został porażony prądem, na skutek czego nastąpiła śmierć po 3 względnie 4 minutach".

„Przy oczyszczaniu kotła z kamienia w pewnym momencie zgasła lampa. Przy dokręcaniu żarówki nastąpiło zwarcie ze szkieletem kotła przez lewą rękę (napięcie 220 V). W tym czasie lampa na napięcie 24 V była przeniesiona do drugiego kotła do pracy".

„Wierciłem otwory do śrub maszynką elektryczną. Po pewnym czasie maszynka dostała spięcie, tak iż nie byłem w stanie takowej puścić".

Nieprzestrzeganie przepisów o włączaniu pod napięcie było przyczyną dwóch wypadków śmiertelnych, których opisy były takie:

„W czasie wymiany uszkodzonego izolatora na słupie żelaznym — linia (15 kV), znajdująca się w naprawie, została włączona pod napięcie bez uprzedzenia o tym naszej firmy, co spowodowało wypadek śmierci poszkodowanego przez porażenie prądem".

„Tragicznie zmarły pracował na linii wysokiego napięcia. W tym czasie z winy osób trzecich prąd został włączony M C. pracując na 14-metrowym słupie żelaznym został porażony prądem o napięciu 10 000 V, a następnie spadł na ziemię".

Przytaczamy również opis jednego z wypadków śmiertelnych charakterystycznych podczas gaszenia pożaru.

„Strażak P. jako pomocnik przodownika wraz ze strażnikiem Ł. otrzymali zadanie obrony klatki schodowej oraz bezpośredniego natarcia na źródło ognia. W czasie pracy gaśniczej P. natrafił prądem wody na przepaloną instalację elektryczną w piwnicy. Ponieważ na skutek wody, znajdującej się na podłodze oraz mokrych ścianach, prąd elektryczny przewodzony był wszędzie, P. został porażony śmiertelnie".

6. Zawód poszkodowanych.

Ryzyko wypadku wiąże się oczywiście z rodzajem wykonywanych prac, a więc z zawodem. Nie wyda się przeto rzeczą dziwną, że wypadkom przy urządzeniach elektrycznych najczęściej ulegają elektromonterzy, jak o tym świadczy poniższe zestawienie:

monterzy-elektrycy	39	wypadków
pomocnicy monterów, uczniowie	22	„
kwalifikowani innych zawodów	22	„
niekwalifikowani	20	„

Aczkolwiek monterzy i ich pomocnicy najbardziej są narażeni na porażenie prądem, niemniej jednak mogliby oni uniknąć wielu wypadków, gdyby przestrzegali przepisów. Nieprzestrzeganie przepisów związane jest najczęściej z nieznajomością przepisów, z ich lekceważeniem oraz z niezrozumieniem przepisów w następstwie powierzchownej tylko znajomości zasad elektrotechniki. Brak znajomości rzeczy u niektórych elektromonterów w tym zakresie podkreślają dosadnie poniższe przykłady:

„W. Z. był zatrudniony przy badaniu bezpieczników. Do kontroli użył lampki próbnej, przystosowanej do napięcia 120 V, podczas gdy przez badane bezpieczniki przepływał normalnie prąd o napięciu 500 V. Wskutek krótkiego spięcia powstał łuk elektryczny, przy czym poszkodowany uległ oparzeniu rąk i twarzy"

„Przy włączaniu silnika elektrycznego do sieci, elektromonter Z. S., rażony prądem o napięciu 380 V, spadł z drabiny wysokości 3,5 m. Majster zapytywał go przed rozpoczęciem roboty, czy prąd wyłączył, i otrzymał odpowiedź twierdzącą, lecz poszkodowany wyłączył inną linię".

„Poszkodowany elektrotechnik D. W., sprawdzając lampą kontrolną silnik, zamiast próbować fazę na ziemię, próbował dwie fazy. Nastąpiło zwarcie i poszkodowany został poparzony dotkliwie w obie dłonie".

„Wypadek miał miejsce przy rozdzielni elektrycznej typu Siemensa, napięcie 380 V. Po usunięciu uszkodzeń poszkodowany elektryk P. Z. zbliżył się z pokrywą metalową w celu przykrycia skrzynki, w której były szyny zbiorcze. Z chwilą, gdy zbliżył pokrywę na odległość około 3 cm, nastąpił łuk elektryczny, który spowodował poparzenie oraz bezwład prawej ręki".

Wydaje się, że tych kilka przykładów uzasadnia potrzebę dokształcania elektromonterów w zasadach bezpiecznej pracy.

7. Wiek poszkodowanych.

Obowiązujące przepisy ustawowe z zakresu bezpieczeństwa pracy zabraniają wykonywania pewnych prac niebezpiecznych lub szkodliwych dla zdrowia kobietom i młodocianym*). W szczególności zabraniają one młodocianym pracy przy urządzeniach i przewodach elektrycznych, w których napięcie przekracza 250 V. Niestety przepis ten nie zawsze jest przestrzegany, co bywa przyczyną ciężkich uszkodzeń ciała, a nawet śmierci młodocianych, jak o tym świadczą poniższe opisy wypadków pracowników młodocianych:

„Przy rozkręcaniu wyłącznika automatycznego dotknął kluczem szyny".

„Zmarły pracował na linii wysokiego napięcia. W tym czasie prąd z winy osób trzecich został włączony".

Jak często są przekraczane wspomniane przepisy, ilustruje poniższe zestawienie wypadków według wieku i płci poszkodowanych:

młodociani poniżej lat 18	7	wyp.,	w tym	przy	wys.	nap.	2
mężczyźni od lat 18 do 21	11	„	„	„	„	„	6
mężczyźni powyżej lat 21	57	„	„	„	„	„	24
kobiety	2	„	„	„	„	„	1
brak danych	26	„					

Z zestawienia tego widać, że nawet młodym mężczyznom powyżej lat 18 nie powinno się powierzać prac przy wysokim napięciu, ulegają oni bowiem częściej wypadkom niż pracownicy starsi i doświadczeni.

W sprawie pracy kobiet przy obsłudze i naprawie urządzeń elektrycznych brak jest wprawdzie zastrzeżeń prawnych, nie mniej jednak ze względu na stwierdzoną mniejszą odporność kobiet na ryzyko poszkodowania przy wypadku należy unikać zatrudniania ich przy pracach niebezpiecznych.

8. Miejsce wypadku.

Ze stanowiska przepisów bezpieczeństwa pracy ważny jest również podział wypadków według miejsca wypadku. Dane co do tego podziału za rok 1946 przedstawiają się jak następuje:

pomieszczenia pracy	32	wyp.
rozdzielnie i podstacje	22	„
inne pomieszczenia	19	„
wolna przestrzeń (przewody napow.)	11	„
wolna przestrzeń (kable podziemne)	11	„
kopalnie — pod ziemią	4	„
brak danych	4	„

[1]) Rychlik Z. Statystyka porażeń elektrycznych w Polsce za lata 1937 i 1938 oraz ich analiza na tle naszych przepisów bezpieczeństwa (Przegl. Elektrotechn., 1939, zesz. 10).

Zaznaczyć należy, że porównanie z materiałami inż. Rychlika natrafia na trudności, ponieważ materiały te nie są jednorodne (notatki prasowe, raporty służbowe, zawiadomienia inspektorów i inne) oraz dotyczą nie tylko wypadków przy pracy, ale i innych.

*) Rozporządzenie Ministra Opieki Społecznej z dnia 3. X. 1935 roku (Dz. U. R. P. Nr 78, poz. 484).

Na 32 wypadki w pomieszczeniach pracy przeważająca większość (20 wypadków) wydarzyła się przy niskim napięciu. Odwrotnie miała się rzecz w rozdzielniach, transformatorniach i podstacjach, gdzie 14 wypadków na ogólną liczbę 22 zdarzyło się przy wysokim napięciu. Wypadki w tych pomieszczeniach specjalnych były przeważnie znacznie cięższe niż pozostałe wypadki, co ilustruje poniższe porównanie:

ogólna liczba wypadków	103, w tym śmiert. 20,
liczba wypadków w rozdzielniach, transformatorniach i podstacjach	22, w tym śmiert. 8.

Porównanie to specjalnie przykro uderza elektryka, gdy się zważy, że większość urządzeń wys. nap. odpowiada w zasadzie obowiązującym przepisom budowy i instalacji, a wypadki przy tych urządzeniach należy przypisać przede wszystkim nieprzestrzeganiu przepisów ruchu i to właśnie przez elektryków, pod których specjalną pieczą pozostają te pomieszczenia. Dotyczy to przede wszystkim przepisu uniedostępnienia pomieszczeń wys. nap. osobom niepowołanym. Nieprzestrzeganie tego przepisu bywa często przyczyną wypadków śmiertelnych z osobami postronnymi nie zdającymi sobie sprawy z niebezpieczeństwa, jak to wykazują poniższe przykłady:

„Wskutek nieostrożności w czasie przerwy obiadowej poszkodowany wszedł do niezamkniętej transformatorni i dotknął przewodów wysokiego napięcia".

„Poszkodowany szukając wygódki otworzył drzwi, nie wiedząc, że prowadzą one do hali, w której znajdowały się przewody wysokiego napięcia. Ponieważ były one bardzo blisko drzwi, poszkodowany chwycił nieopatrznie lewą ręką przewód o wysokim napięciu".

„Poszkodowany L. S. własnowolnie oddalił się z miejsca pracy (tor kolejowy), a przez zbytnią ciekawość wszedł do pomieszczenia, gdzie znajdowały się połączenia kablowe prądu o wysokim napięciu, i dotknąwszy jednego z kabli został porażony".

Tych kilka wypadków świadczy o niedbalstwie i lekceważeniu życia ludzkiego i to nie tyle przez elektromonterów, ile przez personel kierowniczy, który ponosi pełną odpowiedzialność za tego rodzaju wypadki, gdyż nadzór nad przestrzeganiem przepisów przez personel wykonawczy należy do głównych zadań kierownictwa.

9. Ciężkość wypadków.

Dla określenia strat społeczno-gospodarczych związanych z wypadkami ważna jest obok częstotliwości również i ciężkość wypadków. Wypadki przy urządzeniach elektrycznych są na ogół znacznie poważniejsze w skutkach niż wypadki przy innych urządzeniach lub pracach, co wyraźnie wynika z następującego zestawienia:

ogólna liczba wypadk. przy pracy 19 761, w tym śmiert. 346,
liczba wypadków przy urządz. elektr. 103, w tym śmiert. 20

Wypadki przy urządzeniach elektrycznych wykazują zatem przeszło 10-krotnie większą śmiertelność (19,5%) niż wypadki przy pracy z innych przyczyn (1,8%).

Tę olbrzymią śmiertelność należy tłumaczyć przede wszystkim wadliwą organizacją pierwszej pomocy w wypadkach porażenia prądem, wynikającą zarówno ze szczupłości personelu ratowniczego w zakładach pracy, jak też — i to może nawet w większym stopniu — z nieumiejętności udzielania pierwszej pomocy przez ten personel. Liczne doświadczenia i badania zagraniczne wykazują, że racjonalnie stosowana pierwsza pomoc oraz odpowiednie metody leczenia przywróciły życie i zdrowie wielu porażonym w tak ciężkich wypadkach, w których trudno się było tego spodziewać. Tą lepszą organizacją pierwszej pomocy oraz stosowaniem właściwych metod leczenia należy tłumaczyć znacznie niższą śmiertelność w wypadkach porażenia prądem w innych krajach. Tak np. w Szwajcarii w r. 1946 na 126 wypadków było tylko 11 śmiertelnych*), w Niemczech zaś w okresie 3-letnim (1926—28) spośród 4 549 wypadków porażenia prądem tylko 528 zakończyło się śmiercią (11,2%) **).

Kilka przytoczonych poniżej przykładów z doniesień o wypadkach wykazuje, jak często osoby powołane do niesienia pierwszej pomocy, a nawet lekarze, nie zdają sobie sprawy z konieczności kontynuowania pierwszej pomocy przez dłuższy czas aż do chwili wystąpienia **niewątpliwych** oznak śmierci porażonych:

„Pierwszej pomocy nie udzielił nikt. Pozostał na miejscu wypadku pod ochroną straży wskutek zarządzenia M. O.".

„Śmierć nastąpiła po 3 względnie 4 minutach".

„Godzina wypadku 15. Lekarz miejscowy stwierdził śmierć o 15.10".

„Godzina wypadku 15.30. Lekarz stwierdził śmierć o godz. 15.45".

„Lekarz przybył w 20 minut po wypadku, środków ratowniczych nie stosował i stwierdził zgon".

„Zawezwany lekarz po 30 minutach stwierdził śmierć".

Aczkolwiek zagadnienie śmierci pozornej w wypadkach porażenia prądem elektrycznym jest kwestionowane w niektórych sferach lekarskich za granicą, nie mniej jednak sprawa nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśniona, nie mamy więc wystarczających podstaw do niestosowania odpowiednich środków ratowniczych aż do chwili wystąpienia niewątpliwych oznak śmierci.

10. Grupy przemysłu.

Z powszechnością stosowania energii elektrycznej i dużą ilością prac przy urządzeniach elektrycznych wiąże się podział liczbowy wypadków według grup przemysłu. Liczebność wypadków w najważniejszych gałęziach wytwórczości i usług przedstawia się jak następuje:

energetyka	24 wyp.	budownictwo	8 wyp.
komunikacja	22 „	górnictwo węglowe	7 „
przemysł metalowy	18 „	inne grupy	14 „
„ włókienn.	10 „		

Zastosowanie niektórych nowoczesnych urządzeń i metod w zakresie bezpieczeństwa pracy wymaga uprzedniego zbadania ich skuteczności na węższym odcinku, zanim mogłyby być one przyjęte w całym kraju. Jak wynika z powyższego zestawienia, najlepszym terenem do tego rodzaju prób są zakłady energetyczne, w których koncentracja wypadków przy urządzeniach elektrycznych jest największa, co uwidocznia się przy obliczeniu częstotliwości wypadków dla poszczególnych grup przemysłu (np. na 10 000 zatrudnionych):

Grupa przemysłu	Liczba wypadków	Stan zatrudn.	Częstotliwość
Energetyka	24	36 000	6,67
Komunikacja	22	460 000	0,48
Przemysł metalowy	18	170 000	1,12
„ włókienniczy	10	160 000	0,63
Budownictwo	8	60 000	1,33
Górnictwo węglowe	7	180 000	0,39
Inne grupy przemysłu	14	600 000	0,23

Oczywiście, tabelka ta nie podaje wartości ścisłych, gdyż nie obejmuje wszystkich wypadków przy urządzeniach elektr. w r. 1946; również stan zatrudnienia podano tu w liczbach okrągłych (na podstawie Rocznika Statystycznego 1947 r.), nie mniej jednak liczby powyższe dają pewien pogląd na koncentrację wypadków w poszczególnych grupach przemysłu i usług.

11. Wnioski.

Aczkolwkiek materiał niekompletny i pod względem jakościowym pozostawiający bardzo wiele do życzenia nie pozwala na wyprowadzenie pełnowartościowych szczegółowych wniosków z jego analizy, to jednak umożliwia on postawienie pewnych tez orientacyjnych natury ogólnej, które na podstawie dalszych badań mogą ulec poprawkom i uzupełnieniom. Tezy te, stanowiące tymczasowe wytyczne działalności Komitetu Bezpieczeństwa Pracy SEP, obejmują następujące wymagania:

1. **Materiały statystyczne.** Opracować formularz specjalny doniesienia o wypadkach elektrycznych oraz stworzyć instytucję rzeczoznawców dla badania przyczyn wypadków.

2. **Wysokość napięcia.** Zwrócić specjalną uwagę na niebezpieczeństwa przy wysokim napięciu podczas szkolenia i przeszkalania personelu fachowego oraz wdrażać ten personel do ścisłego przestrzegania przepisów dla poszczególnych napięć.

3. **Źródła niebezpieczeństw.** Wybrać najniebezpieczniejsze urządzenia względnie ich elementy oraz opracować nowoczesne wzory zabezpieczenia tych urządzeń. Wprowadzić okresową kontrolę stanu urządzeń. Doprowadzić do uruchomienia produkcji właściwych zabezpieczeń. Wprowadzić ogólną kontrolę produkowanych urządzeń elektrycznych ze stanowiska bezpieczeństwa pracy (kontrola planów konstrukcji oraz wykonania).

4. **Przepisy bezpieczeństwa.** Spopularyzować przepisy drogą publikacji, szkolenia, odczytów, plakatów, tablic itp. Dążyć do możliwie najszybszej nowelizacji

---

*) Accidents dus à l'électricité survenus en Suisse au cours de l'année 1946 (Bulletin de l'Association Suisse des Électriciens, 1947, nr 17).

**) Betrachtungen zur Statistik der elektrischen Unfälle (Zentralblatt für Gewerbehygiene und Unfallverhütung, 1930, nr 9).

przepisów, które wymagają już w wielu przypadkach rewizji i uzupełnień. Wdrażać do przestrzegania przepisów w zakresie obsługi i konserwacji urządzeń. Opracować szczegółowe instrukcje obchodzenia się z urządzeniami elektrycznymi.

5. Zawód poszkodowanych. W programach szkolenia fachowego elektryków na wszystkich szczeblach zwrócić szczególną uwagę na zagadnienia bezpieczeństwa pracy oraz odpowiedzialności za wypadki wynikające z nieprzestrzegania przepisów. Uzupełnić programy szkolenia fachowego innych zawodów na wszystkich szczeblach zagadnieniami bezpieczeństwa pracy przy urządzeniach elektrycznych. Podnieść wymagania co do kwalifikacji osób obsługujących urządzenia elektryczne.

6. Wiek poszkodowanych. Uświadamiać personel kierowniczy o konieczności bezwzględnego przestrzegania przepisów rozporządzenia Ministra Opieki Społecznej z dnia 3. X. 1935 r. (Dz. U. R. P. Nr. 78 poz. 484), zabraniających młodocianym robót przy urządzeniach i przewodach elektrycznych.

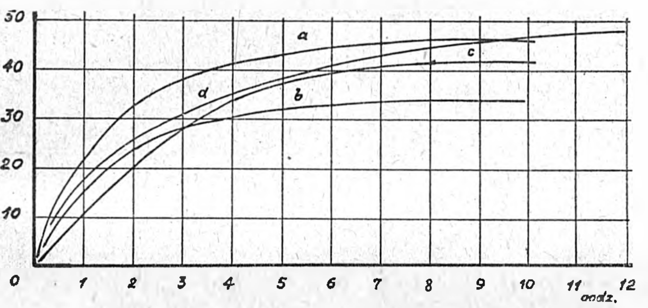
7. Miejsce wypadku. Wprowadzić bezwzględnie w życie przepisy zawarte w ust. 2 i ust. 3 § 55 PNE/10 w sprawie uniedostępnienia pomieszczeń ruchu elektrycznego dla osób postronnych. Zwrócić szczególną uwagę na bezwzględne i właściwe stosowanie przepisu ust. 1 § 57 PNE/10 w sprawie uprzedzania o włączaniu pod napięcie; opracować szczegółową instrukcję o wykonywaniu tego — tak ważnego — przepisu.

8. Ciężkość wypadków. Zainteresować świat lekarski zagadnieniami pierwszej pomocy i leczenia w wypadkach porażenia prądem elektrycznym. W programach kursów dla personelu ratowniczo-sanitarnego położyć większy nacisk na sprawę racjonalnego udzielania pierwszej pomocy w wypadkach porażenia prądem. Dążyć do zwiększenia liczby kwalifikowanego personelu ratowniczo-sanitarnego.

9. Grupy przemysłu. W pierwszym etapie skoncentrować akcję zapobiegawczą na zakładach energetyki, które wykazują częstotliwość i ciężkość wypadków elektrycznych wielokrotnie większą niż inne zakłady pracy. Przed wprowadzeniem w życie nowoczesnych metod zapobiegawczych oraz nowoczesnego sprzętu i urządzeń bezpieczeństwa w skali ogólno-krajowej wypróbować je przede wszystkim na terenie energetyki.

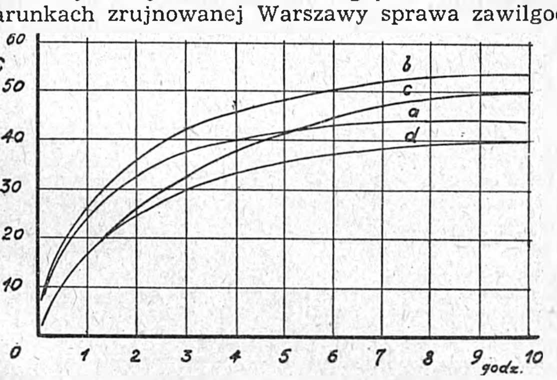
Zwiększenie mocy suchych transformatorów przez zanurzenie ich w oleju

Jednym z poważnych kłopotów warszawskiej sieci elektrycznej jest posiadanie w eksploatacji około 900 sztuk suchych transformatorów, w tym 750 sztuk czynnych i



Rys. 1. Przyrost temperatury transformatora o znamionowej mocy w stanie suchym 27 kVA*)

150 sztuk wycofanych z sieci ze względu na małe moce. W warunkach zrujnowanej Warszawy sprawa zawilgocenia



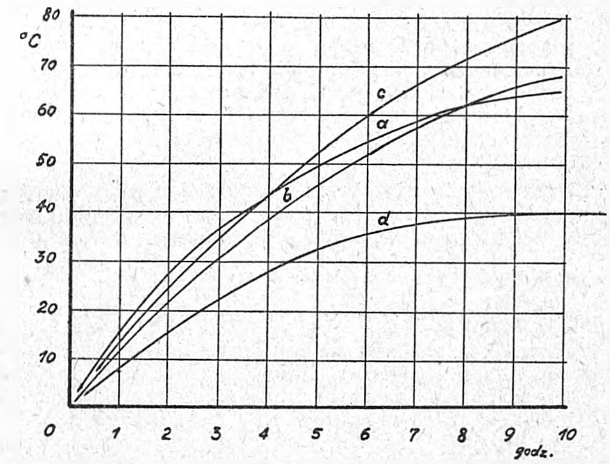
Rys. 2. Przyrost temperatury transformatora o znamionowej mocy w stanie suchym 40 kVA*)

nia suchych transformatorów, a co za tym idzie dość częstych uszkodzeń posiada szczególną wagę.

Przeprowadzone badania wykazały możliwość wykorzystania małych transformatorów z trwałym 100-procentowym przeciążeniem po zanurzeniu ich w oleju.

Wykonano próby z trzema transformatorami suchymi o mocach 27, 40 i 64 kVA, zanurzywszy je w oleju po odpowiednim przygotowaniu: zdjęciu zewnętrznej izolacji cewek dla ułatwienia chłodzenia, utworzeniu kanałów do przepływu oleju pomiędzy rdzeniem a uzwojeniem, oczyszczeniu uzwojeń i rdzeni ze składników rozpuszczalnych w oleju oraz dokładnym ich wypłukaniu. Zbiorniki użyto przypadkowe, lecz wymiarami odpowiadające wymiarom rdzeni.

Przy przeciążaniu badano następujące dane transformatorów: przyrosty temperatur, napięcie zwarcia, straty w miedzi, sprawność, spadek napięcia, stan izolacji uzwojeń.



Rys. 3. Przyrost temperatury transformatora o znamionowej mocy w stanie suchym 64 kVA*)

Przyrosty temperatur. Zbadano nagrzewanie transformatorów przy mocy znamionowej na sucho oraz przy 100% przeciążeniu w oleju. Z załączonych wykresów (rys. 1, 2 i 3) wynika, że przyrosty temperatur uzwojeń i rdzeni na sucho przy znamionowej mocy, jak i oleju przy 100% przeciążenia nie przekraczają 60° C. Jedynie transformator o mocy 64 kVA, jako suchy, posiadał wyższe przyrosty temperatur (uzwojenia 70° C, rdzeń 80° C — z tendencją do dalszego wzrostu), co tłumaczy się tym, że badany obiekt posiadał o 70% zwiększone straty w żelazie wskutek częściowego zniszczenia izolacji blach rdzenia. Pomimo to transformator ten przy 100% przeciążenia w oleju wykazał przyrosty temperatur w granicach dopuszczalnych.

Dla porównania obliczono przyrosty temperatur na podstawie pomiarów oporności. Z wyników podanych w tabl. 1 widać, że przyrosty temperatur przy 100% przeciążenia transformatora w oleju znajdują się w granicach dopuszczalnych.

Należy zaznaczyć, że czynnikami wpływającymi dodatnio na chłodzenie transformatora w tym wypadku są: 1) krążkowy układ uzwojeń, 2) powiększenie strat tylko w uzwojeniach, posiadających lepsze warunki chłodzenia niż rdzeń, 3) większe wymiary rdzeni transformatorów suchych niż olejowych tej samej mocy, a tym samym

*) Oznaczenia do rys. 1, 2 i 3:
a — uzwoj. wysok. nap. }
b — uzwoj. nisk. nap. } przy obciążeniu równym mocy znamionowej na sucho
c — rdzeń }
d — olej przy obciążeniu dwukrotnie większym

nieco większe wymiary zbiorników niż zbiorników analogicznych transformatorów olejowych.

Napięcie zwarcia. Jednym z warunków równoległej pracy transformatorów jest jednakowe napięcie

Tablica 1. Przyrosty temperatur

Transformator	Obciążenie		Przyrost temperatury uzwojenia w °C	
	kVA	stan	nisk. nap.	wys. nap
1	27	na sucho	47	58
	54	w oleju	31	56
2	40	na sucho	42	42
	80	w oleju	43	49
3	64	na sucho	51	55
	128	w oleju	50	56

zwarcia. W wypadku zmiany mocy transformatora przy zachowaniu tego samego uzwojenia napięcie zwarcia również ulegnie zmianie, proporcjonalnie do zwiększonej mocy. Transformatory zanurzone w oleju będą więc mogły pracować równolegle przy przeciążaniu tylko z transformatorami analogicznie przerobionymi.

Straty w żelazie i miedzi. Wskutek przeciążenia transformatora straty w miedzi rosną proporcjonalnie do kwadratu prądu, natomiast straty w żelazie pozostają prawie bez zmiany. Stosunek strat w miedzi do strat w żelazie, wyrażający się w transformatorach suchych stosunkiem 3:1, przy 100% przeciążeniu osiąga wartość 4-krotnie większą czyli 12:1. Małe straty w żelazie w stosunku do zwiększonej mocy transformatora są dla elektrowni korzystne, szczególnie podczas pracy transformatorów w godzinach małego obciążenia.

Sprawność. Sprawność transformatorów przy przeciążeniu nieco maleje, osiągając przy 100-procentowym przeciążeniu wartość 95—96,5%. Dla normalnych transformatorów olejowych o mocach równych dwukrotnej mocy transformatorów suchych sprawność waha się w granicach 97—97,4%.

Spadek napięcia. Wraz z przeciążeniem transformatora występuje normalne zjawisko dalszego spadku napięcia. Spadek ten, wynoszący przy znamionowym obciążeniu 3,5—4%, przy przeciążeniu 100% stanowi 7—8%. Ponieważ transformatory w sieci warszawskiej posiadają przekładnię biegu jałowego 5 000/220 V, a obecne napięcie sieci wynosi 211 V, powoduje to zbyt duży spadek napięcia. Spadek ten, wynoszący przy znamionowym obciążeniu po stronie wysokiego napięcia. W rezultacie przekładnia biegu jałowego zmienia się na 5 000/231 V. Przeróbka ta powoduje wzrost strat w żelazie około 10%. Wobec stosunkowo niskich przyrostów temperatur uzwojeń w oleju, zwyżka strat w żelazie nie ma ujemnego wpływu na normalną pracę transformatora.

Stan izolacji. Pomiary izolacji uzwojeń po nagrzaniu zarówno transformatorów suchych, jak i przeciążonych w oleju żadnych zmian nie wykazały.

Koszty przeróbki transformatorów. Na koszty przeróbki transformatora składają się: wykonanie zbiornika i pokrywy z konserwatorem, izolatory przepustowe i związana z przeróbką robocizna. Przyjmując dla transformatora suchego jego wartość w obecnym stanie jako 40% wartości transformatora olejowego tej samej mocy i doliczając koszty przeróbki, otrzymamy wartość transformatora o dwukrotnej mocy niższą od ceny nowego transformatora olejowego. Powstałe stąd oszczędności dla transformatorów wynoszą od 25 do 35% (tabl. 2).

Tablica 2. Korzyści przeróbki

Moc (kVA)	Transformator przerabiany			Cena nowego transformatora (zł)	Oszczędność	
	wartość (zł)	przeróbka (zł)	razem (zł)		zł	%
27	100 000	87 000	187 000	290 000	103 000	35,5
40	108 000	112 000	220 000	330 000	110 000	33,3
64	124 000	166 000	290 000	400 000	110 000	27,5

Przy przeróbce w ciągu 2—3 lat około 120 transformatorów suchych średniej mocy 40 kVA elektrownia warszawska otrzyma oszczędności około 12 mln. zł. Ponieważ jednak transformatory suche małej mocy praktycznie nie były wyzyskane, lecz szły na rozbiórkę, korzyści są znacznie większe.

Inż. S. Minorski

MIĘDZYNARODOWY KONGRES MEDYCYNY PRACY

We wrześniu b. r. odbył się w Londynie 9-ty Międzynarodowy Kongres Medycyny Pracy. W delegacji polskiej brał udział członek Komitetu Bezpieczeństwa Pracy SEP prof. M. Rzęcki. Pięć referatów spośród wygłoszonych na kongresie dotyczyło porażeń elektrycznych. W referatach tych omówiono: 1) selekcję personelu elektrotechnicznego z punktu widzenia podatności na porażenia, 2) celowość przepisów bezpieczeństwa, 3) porażenia prądem wysokiego napięcia, 4) działanie jonizacji w organizmie pod wpływem prądu, 5) środki wykazania stanu „śmierci pozornej" w wypadku porażenia elektrycznego.

KOMUNIKATY S. E. P.

1. **Zatwierdzenie regulaminu Sekcji Telekomunikacyjnej.** Zarząd Główny na posiedzeniu w dniu 5. 11. 48 r. zatwierdził regulamin Sekcji Telekomunikacyjnej.

2. **Zmiany w ramowym regulaminie oddziałów.** Zarząd Główny na posiedzeniu w dniu 5. 11. 1948 r. uchwalił wprowadzić do ramowego regulaminu oddziałów kilka zmian na podstawie propozycji niektórych oddziałów.

3. **Zatwierdzenie regulaminów oddziałów.** Zarząd Główny na posiedzeniu w dniu 5. 11. 1948 r. zatwierdził, po uwzględnieniu zmian wprowadzonych do ramowego regulaminu, regulaminy dla następujących oddziałów: Jeleniogórskiego, Krakowskiego, Lubelskiego, Mazowieckiego, Mazurskiego, Radomsko-Kieleckiego, Opolskiego, Szczecińskiego, Warszawskiego.

4. **Składki członkowskie w Sekcji Telekomunikacyjnej.** W myśl § 43 nowozatwierdzonego regulaminu Sekcji członkowie Sekcji wpłacają składki bezpośrednio do Oddziałów SEP; jedynie członkowie Sekcji z Oddziału Warszawskiego wpłacają składki bezpośrednio skarbnikowi Sekcji.

5. **Kandydatury na członków SEP.** W myśl § 12 statutu SEP ogłasza się następującą listę kandydatów na członków zwyczajnych Stowarzyszenia:

ODDZIAŁ GDAŃSKI

Baliński Adam, Lębork, Kościuszki 22
Jarmicka Maria, Gdańsk, Wały Jagiellońskie 9
Konecki Zbigniew, Sopot, Helska 8 m. 1
Ostaszewski Witold, Gdańsk-Wrzeszcz, Pawłowskiego 2
Schwotzer Witold, Gdańsk-Wrzeszcz, Parkowa 15 m. 2
Szantyr Wincenty, Sopot, Kazimierza Wielkiego 13

ODDZIAŁ ŁÓDZKI

Kamieniak Bronisław, Łódź, Kilińskiego 72
Majda Józef, Łódź, Piotrkowska 82 m. 87
Mirowski Jerzy, Łódź, Armii Ludowej 19 m. 13
Pełka Władysław, Łódź, 11 Listopada 43 m. 19
Skonieczny Czesław, Łódź, Legionów 61
Żwirełło Zenon, Łódź, Piotrkowska 82 m. 73

ODDZIAŁ WARSZAWSKI

Aptowicz Franciszek, Warszawa, Pustelnicka 30
Brczak Bronisław, Pruszków, Bol. Prusa 52 m. 5
Hantel Lucjan, Warszawa, Puławska 216 m. 4
Klose Ottomar, Anin Stary, Królewska 19
Nowicki Jerzy, Warszawa, Filtrowa 79 m. 42
Rafałowicz Zygmunt, Warszawa, Lwowska 6 m. 12
Rozental Renata, Warszawa, Al. Niepodległości 143 m. 61
Sabat Władysław, Warszawa, Marszałkowska 112 m. 21
Sobolewski Zygmunt, Pruszków — Ostoja, 3-go Maja
Tor Bogdan, Warszawa, Dąbrowiecka 30 m. 1
Winiarski Bolesław, Warszawa, Marszałkowska 8 m. 18
Winter Czesław, Warszawa, Dobra 20 m. 56
Wojciechowski Stanisław, Warszawa, Działdowska 8 m. 13
Wroński Zdzisław, Pruszków, Brzezińskiego 19

ODDZIAŁ WROCŁAWSKI

Jarosławski Jan, Wrocław, Pstrowskiego 12
Pietrusiewicz Tadeusz, Wrocław — Pilczyce, Hutnicza 48 m. 1
Wiktorowicz Stefan, Wrocław, Żeromskiego 25 m. 6

ODDZIAŁ ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Bujakowski Zbigniew, Katowice, Krasińskiego 13 m. 75
Malinowski Alfred, Pawłów, Główna 37
Wucke Eugeniusz, Sosnowiec, R. Mielczarskiego 39